FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1907 — THÈSE — N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le jeudi 31 octobre 1907, à 1 heure

Par M. JACQUES SOUBIES

Né à Paris, le 15 juin 1880.
Ancien externe des Hôpitaux de Paris.

PHYSIOLOGIE DE L'AÉRONAUTE

Travail du laboratoire de la Clinique médicale de l'Hôtel-Dieu (M. le Professeur Dieulafoy).
Sous les auspices de la Commission scientifique de l'Aéro-Club de France.

Président : M. DIEULAFOY, *professeur.*
Juges : MM. JOFFROY, *professeur.*
DUPRÉ, RÉNON, *agrégés.*

PARIS
G. STEINHEIL, ÉDITEUR
2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1907

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Doyen	M. DEBOVE.
Professeurs	MM.
Anatomie	NICOLAS.
Physiologie	Ch. RICHET.
Physique médicale	GARIEL.
Chimie organique et chimie minérale	GAUTIER.
Parasitologie	R. BLANCHARD
Pathologie et thérapeutique générales	BOUCHARD
Pathologie médicale	DEJERINE. BRISSAUD.
Pathologie chirurgicale	LANNELONGUE.
Anatomie pathologique	CORNIL.
Histologie	PRENANT.
Opérations et appareils	QUENU.
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET.
Thérapeutique	GILBERT.
Hygiène	CHANTEMESSE.
Médecine légale	THOINOT
Histoire de la médecine et de la chirurgie	GILBERT (BALLET).
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER.
Clinique médicale	HAYEM. DIEULAFOY. DEBOVE. LANDOUZY.
Clinique des maladies des enfants	HUTINEL.
Clinique de pathologie mentale et des maladies de l'encéphale	JOFFROY.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GAUCHER.
Clinique des maladies du système nerveux	RAYMOND.
Clinique chirurgicale	LE DENTU. BERGER. RECLUS SEGOND.
Clinique ophtalmologique	DE LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	ALBARRAN.
Clinique d'accouchements	PINARD. BAR.
Clinique gynécologique	POZZI.
Clinique chirurgicale infantile	KIRMISSON.
Clinique thérapeutique	ROBIN.

Agrégés en exercice.

MM.	MM	MM.	MM.
AUVRAY.	CUNÉO.	LAUNOIS.	NOBECOURT.
BALTHAZARD.	DEMELIN.	LECÈNE.	OMBRÉDANNE.
BEZANÇON.	DESGREZ.	LEGRY.	POTOCKI.
BRANCA.	DUVAL.	LENORMANT.	PROUST.
BRINDEAU.	GOSSET.	LOEPER.	RÉNON.
BROCA (ANDRÉ).	GOUGET.	MACAIGNE.	RICHAUD.
BRUMPT.	JEANNIN.	MAILLARD.	RIEFFEL. *Chef des travaux anatomiques*
CARNOT.	JEANSELME.	MARION.	SICARD.
CASTAIGNE.	JOUSSET.	MORESTIN.	ZIMMERN.
CLAUDE.	LABBÉ.	MULON.	
COUVELAIRE.	LANGLOIS.	NICLOUX.	

Secrétaire de la Faculté : M. DESTOUCHES.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A. M. le Professeur DIEULAFOY

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX

HALLOPEAU
DESCROIZILLES
BERGER
Marcel LABBÉ
DIEULAFOY
LACOMBE
HERBET
OULMONT

A MON PÈRE ET A MA MÈRE

INTRODUCTION

L'intérêt qui s'attache aux manifestations de l'aéronautique s'est considérablement accru, durant ces dernières années, à la suite des grands concours de ballons libres, et des essais récents, déjà couronnés de succès, de ballons dirigeables et d'aviateurs. Cette extension rapide de la locomotion aérienne, si longtemps demeurée stationnaire et réservée à un petit nombre de professionnels, le nombre toujours croissant des voyageurs qui prennent place dans les nacelles, les records d'altitude et de distance établis depuis 1900, devaient attirer l'attention sur les variations atmosphériques et leur influence sur l'organisme pendant les ascensions en ballon. Ces raisons nous ont engagé à diriger nos recherches du côté de la physiologie des aéronautes.

Il faut rapporter, dans une large mesure, à la fondation de l'Aéro-Club de France, le grand progrès de la locomotion aérienne. Cette association s'est en effet proposé, depuis sa fondation, en 1898, de contribuer au développement de l'aéronautique et des sciences qui s'y rattachent. Les excursions aériennes qu'elle a facilitées par l'installation d'un parc spécial, les concours nombreux et variés dans lesquels de véritables exploits ont été accomplis, enfin l'institution de commissions scientifiques qui préparent et vulgarisent ensuite les inventions nouvelles, ont permis d'arriver à d'importants résultats. Pour la multiplication des voyages aériens, il suffit de comparer les statistiques de 1898 et de 1906. Pendant la première année, l'Aéro-Club enregistre le

départ de 135 passagers parcourant un total de 10.000 kilomètres en 360 heures ; en 1906, le nombre des passagers s'élève à 1.002 effectuant un ensemble de 44.000 kilomètres en 1.753 heures.

Ces chiffres permettent d'envisager l'intérêt que présenterait une étude d'ensemble sur la physiologie des aéronantes. L'Aéro-Club a favorisé dans une grande mesure ces recherches en organisant des ascensions scientifiques internationales. Un certain nombre de travaux ont été déjà entrepris, notamment sur les questions de sang et de respiration pendant les montées en ballon à de grandes altitudes, et l'on a pu modifier, à la suite de ces expériences, plusieurs théories anciennes. Jusqu'en 1900, les communications sur des phénomènes physiologiques observés en aérostat se limitaient aux indications fournies par le physicien Charles (1783), puis par Robertson, Zambeccarri, Biot et Gay-Lussac ; à une époque plus rapprochée, par le météorologiste Glaisher (1862) ; enfin par Sivel et Crocé-Spinelli dont les ascensions de 1875, effectuées en compagnie de Gaston Tissandier, devaient aboutir à la tragique ascension du *Zénith*.

Mais en dehors de ces quelques voyages qui avaient pu contribuer, pour une certaine part, à l'étude physiologique des aéronautes, on en était resté, jusqu'en 1900, aux travaux de Paul Bert concernant les modifications apportées à l'organisme par la montée rapide aux grandes altitudes. Dans son ouvrage sur la dépression barométrique, Paul Bert avait conclu à l'insuffisance de l'oxygène dans les régions élevées. A la suite de Jourdanet, Paul Bert établissait la théorie de l'anoxyhémie : le sang se défendait contre la diminution de l'oxygène en utilisant plus complètement celui qu'il trouvait dans les alvéoles pulmonaires, et en augmentant sa proportion d'hémoglobine. Les recherches de Viault sur les montagnes du Pérou et au Pic du Midi, celles

d'Egger et de Mercier à Arosa, de Miescher et de ses élèves dans les Alpes, enfin les expériences de laboratoire de Schaumann et Rosenqvuist, ainsi que celles de Sellier, confirmaient cette opinion, et laissaient affirmer l'existence d'une hyperglobulie des altitudes.

C'est alors que de premières ascensions scientifiques furent organisées, en 1901, sous le patronage de l'Aéro-Club de France. Tandis que Pierre Bonnier observait les modifications de l'ouïe, qu'Hallion et Tissot étudiaient les échanges respiratoires, la question de l'hyperglobulie étaient envisagée par Raoul Bensaude, Jolly, Victor Henri et Calugareanu. Les résultats des expériences étaient identiques. Les expérimentateurs constataient la présence d'une hyperglobulie limitée à la périphérie et sans modifications histologiques du sang. De nouveaux examens semblaient indispensables pour élucider complètement cette question de l'hyperglobulie des ascensions ; des conclusions analogues étaient présentées, à l'étranger, par Abderhalden, Schrötter et Züntz.

Enfin une dernière période commence en 1904, à la suite de nouvelles ascensions scientifiques. Il fallait déterminer d'une façon définitive, la réalité de cette hyperglobulie que l'on considérait jadis comme certaine, et que les premiers examens en ballon, les travaux exécutés au laboratoire par Ambard et Beaujard, Lapicque, Camus, Armand-Delille et André Mayer, avaient rendue très douteuse. Les expérimentateurs sont cette fois Lapicque, André Mayer, Jolly et Victor Henri. Leurs résultats permettent de nier l'existence d'une réelle hyperglobulie. On se trouve uniquement en présence de phénomènes périphériques.

Dans l'intervalle, un certain nombre de recherches avaient été faites sur la nature exacte du mal des montagnes et du mal en ballon, A la théorie de Paul Bert qui rapporte à l'anoxyhémie, c'est-à-dire à la diminution de l'oxygène dans l'atmosphère, l'existence des accidents aux grandes altitudes, Kronecker et

Bartlett opposent la diminution de pression, agissant par stase sanguine dans les vaisseaux pulmonaires : Mosso et Aggazzotti attribuent au défaut d'acide carbonique, acapnie, un certain nombre de phénomènes morbides observés dans le mal en ballon ; enfin Guillemard et Moog expliquent ce mal des altitudes par l'arrêt dans la filtration rénale, et croient à la production d'accidents d'urémie.

Nous avons entrepris de grouper ces travaux scientifiques, en y joignant l'exposé de diverses communications faites à la suite d'ascensions. Nous avons voulu, à notre tour, répéter un certain nombre de ces expériences, et nous avons également étudié, pendant nos voyages aériens, les divers points laissés de côté jusqu'à ce jour. Ces travaux personnels nous ont été rendus faciles grâce au patronage de l'Aéro-Club de France. Nous exprimons tout particulièrement nos remerciements à MM. Georges Besançon et Georges Bans pour leur excellent accueil,et pour les précieuses indications qu'ils ont bien voulu nous donner au cours d'un travail dont beaucoup de difficultés ont été aplanies par eux. Nous avons également une grande obligation à M. Nicolleau qui avait accepté de diriger nos ascensions ; il a réussi, grâce à son habileté consommée, à nous maintenir aux altitudes les plus favorables, et c'est à lui que nous devons le succès de nos expériences. M. Jaubert, directeur de l'Observatoire météorologique de la ville de Paris,à consenti à régler nos appareils. Nous lui sommes également redevable d'intéressants documents, et nous tenons à lui témoigner notre gratitude.

M. le professeur Dieulafoy, a bien voulu nous ouvrir le laboratoire de Clinique médicale de l'Hôtel-Dieu, pour y poursuivre nos recherches. Nous lui exprimons notre respectueuse reconnaissance. Enfin, nos examens ont été effectués avec l'aide du

Dr Crouzon, et nous garderons le souvenir de ses excellents conseils.

Nous étudierons, dans cet ouvrage, les différentes réactions de l'organisme pendant les ascensions. Mais il nous paraît nécessaire de décrire, au début, la structure et le fonctionnement du ballon.

DESCRIPTION DU BALLON

Le ballon est constitué par une enveloppe sphérique, légère et imperméable ; cette enveloppe, remplie d'un gaz plus léger que l'air, s'élève dans l'atmosphère et s'y maintient en équilibre conformément au principe d'Archimède.

A cet élément fondamental, l'enveloppe, on ajoute différents organes dont les principaux sont le filet et la nacelle.

L'enveloppe cube généralement de 600 à 2,000 mètres de gaz. Désignée du nom de « peau » elle est faite en soie (ponghée, soie japonaise, soie française) ou en coton (percale). L'étoffe est taillée en panneaux absolument identiques dans chaque zone et cousus ensemble avec soin. La peau est ensuite enduite d'un vernis à l'huile de lin, cuite et traitée par la litharge : ce vernis assure l'imperméabilité du ballon, supprimant avec les pores de la peau, les fissures, les trous d'aiguilles par lesquels s'échapperait le gaz.

L'enveloppe présente deux orifices : au pôle supérieur, la soupape par laquelle sort le gaz à la descente du ballon ; au pôle inférieur, la manche d'appendice constamment ouverte pendant l'ascension et permettant d'équilibrer la pression intérieure du gaz avec la pression extérieure de l'air. Cet appendice se compose d'un large tube du même tissu que l'enveloppe : long de 1 à 3 mètres, il pend au-dessus de la nacelle.

Le filet entoure l'enveloppe dont il recouvre tout l'hémisphère supérieur. Il est formé de grandes mailles qui s'appliquent forte-

ment sur cette enveloppe, la protègent sans la comprimer, et se prêtent, grâce à leur élasticité, aux alternatives de contraction et de dilatation du gaz ; le poids de la nacelle se trouve enfin réparti également sur toute la surface de l'hémisphère supérieur. Un peu au-dessous du grand axe horizontal, les cordes du filet s'écartent de l'enveloppe et se groupent en pattes d'oie pour se terminer, au nombre de 16 à 32, sur le cercle de suspension. Le cercle est un anneau de bois léger, solide et indéformable, disposé au-dessus de la nacelle ; il doit arrêter les efforts transmis par le filet.

De la face inférieure du cercle de suspension partent huit cordes auxquelles est suspendue la nacelle.

La nacelle est une sorte de panier plus ou moins large, à ouverture carrée ou oblongue, quelquefois très allongé pour que l'aéronaute puisse s'y étendre. La charpente est représentée par les huit cordes disposées en U et noyées dans un treillis d'osier ; ainsi s'obtiennent à la fois la solidité et l'élasticité de l'appareil. La nacelle est parfois tapissée intérieurement. Ailleurs elle présente des ouvertures qui diminuent légèrement son poids. Elle contient, avec les aéronautes, le panier à provisions qui sert de siège, et les sacs de lest répartis dans le fond et aux angles. Les instruments sont suspendus aux cordes réunissant le cercle de suspension à la nacelle.

Différents appareils complètent le grément du ballon. Ce sont d'abord les organes d'arrêt, guide-rope, serpent, ancre et surtout le panneau de déchirure, disposé à la partie supérieure de l'enveloppe, et servant à arrêter le ballon presque immédiatement, même par un vent violent. Ce sont encore les sacs de lest dont l'aéronaute usera pour augmenter la force ascensionnelle, rétablir l'équilibre ou régler la descente. Ce sont enfin les instruments scientifiques, le baromètre anéroïde qui indique l'altitude,

l'hygromètre, le thermomètre fronde ou enregistreur, la boussole et le statoscope qui note à chaque instant les plus légères oscillations du ballon en hauteur. Ce dernier appareil est construit sur le principe de l'oreille et se compose de deux chambres, l'une ouverte au dehors (oreille externe), l'autre (oreille moyenne) communiquant avec l'extérieur par un tube de caoutchouc (trompe d'Eustache). Les deux chambres sont séparées par une membrane (membrane du tympan) qui, lorsqu'on serre le tube de caoutchouc, se bombe en dehors ou en dedans suivant que la pression de l'air extérieur diminue et dans ce cas le ballon monte, ou augmente, et alors le ballon descend. Un système de ressorts (osselets) transmet les oscillations de la membrane à une aiguille qu'examine l'aéronaute.

*
* *

L'atmosphère est composée d'un gaz fluide et pesant. Elle exerce, ainsi que les liquides, des pressions sur les corps solides, et l'on peut étendre à elle le principe d'Archimède suivant lequel tout corps plongé dans un liquide pesant en équilibre y subit une poussée verticale de bas en haut, égale au poids du volume liquide déplacé. Le baroscope donne la vérification de ce principe en montrant la différence de poids d'une sphère contenue dans l'air et dans le vide. Une nouvelle loi enregistre ce fait : tout corps plongé dans une atmosphère gazeuse paraît y perdre une partie de son poids égale au poids du gaz qu'il déplace.

Mais la pression atmosphérique n'est pas égale en tous points. Elle diminue à mesure que l'on s'élève, et le baromètre donne ainsi l'indication des altitudes. Ce phénomène se trouve également démontré par les aérostats. Le ballon s'élève dans l'air jusqu'à ce qu'il rencontre des couches d'air de même densité que

lui. Il est soumis à deux forces : d'une part son poids qui l'attire de haut en bas et qui est la somme des poids du gaz, du ballon et des aéronautes ; d'autre part, la poussée dirigée de bas en haut et égale au poids du volume d'air déplacé par l'aérostat tout entier. La différence entre ces deux forces est appelée la force ascensionnelle.

Lorsque le ballon s'élève, il rencontre des couches d'air de moins en moins denses ; la force ascensionnelle diminue graduellement et l'on atteint bientôt un état d'équilibre pendant lequel le ballon plane ou avance horizontalement sous la poussée du vent.

La force ascensionnelle est avant tout en rapport avec la légèreté du gaz qui gonflera le ballon. On utilise généralement le gaz d'éclairage que l'on fabrique en distillant la houille, et qui contient de l'hydrogène, du formène, de l'éthylène ainsi qu'une faible quantité d'anhydride carbonique, d'acide sulfhydrique et d'ammoniaque. Le gaz d'éclairage est assez dense (0,63) mais facile à trouver et d'un prix relativement bas. L'hydrogène préparé par l'acide sulfurique en présence du zinc ou du fer, et débarrassé ensuite de ses impuretés, est moins lourd que le gaz d'éclairage, mais coûte beaucoup plus cher. On mélange parfois l'hydrogène et le gaz d'éclairage. Signalons enfin pour mémoire les montgolfières avec lesquelles il suffisait de disposer, au-dessous du large orifice inférieur, un réchaud dans lequel on entretenait la combustion. L'air échauffé distendait les parois de l'enveloppe et soulevait l'appareil.

Le gonflement se fait par l'une des méthodes de l'épervier, la meilleure, du demi-épervier ou de la baleine ; on procède ensuite à l'appareillage en descendant les sacs de lest, en amarrant la nacelle et en pesant. Au moment du « lâchez tout » l'aéronaute ouvre la manche d'appendice pour permettre au gaz d'équilibrer

sa pression avec celle de l'air extérieur et pour éviter l'éclatement de l'enveloppe pendant la montée. Le ballon s'élève alors, plus ou moins franchement, suivant la force ascensionnelle.

Lorsque l'aéronaute ne cherche pas à atteindre une très grande altitude, et ne sacrifie pas son lest dans ce but, il s'efforce de s'équilibrer dans un courant aérien, et il enraye, en jetant du lest, chaque début de descente qu'indique le statoscope. De nombreux facteurs interviennent en effet pour modifier la force ascensionnelle. Le soleil distend le gaz, augmente le volume d'air déplacé et fait monter le ballon. C'est lui qui, après un voyage de nuit à faible hauteur, permet de s'élever, le matin, à de grandes altitudes. Par contre l'humidité froide atténue la force ascensionnelle en diminuant le volume du gaz et en déposant de fines gouttelettes sur l'enveloppe qu'elle alourdit. Il en est de même des nuages qui, à la descente, font contracter brusquement le gaz, et la précipitent. Une averse ou une chute de neige ont souvent le même effet.

Le passage du soleil dans l'ombre est, pendant le jour, une des principales causes de rupture d'équilibre. Ce phénomène ne se produit plus la nuit, et le ballon se maintient facilement à la même hauteur, avançant près de la terre, au guide-rope, et chargé seulement d'une certaine quantité d'eau qui s'évaporera le matin. La nature même du sol influe sur l'aérostat. Les forêts, les rivières, les étangs modifient le degré hygrométrique de l'air et augmentent la couche d'humidité qui, pendant l'été, s'étend autour de la terre jusqu'à une hauteur de mille mètres environ, lorsque le ciel est très pur.

A la fin du voyage aérien, l'aéronaute ouvre la soupape et fait descendre le ballon. L'atterrissage très simple par temps calme devient plus délicat quand le vent est violent. L'aéronaute doit fixer solidement la corde d'appendice pour éviter que le vent ne

creuse l'hémisphère inférieur du ballon. Il atténue, en délestant la nacelle, la rapidité de la chute, puis il jette le guide-rope, le serpent ou l'ancre. Le procédé le plus simple consiste, lorsque l'aéronaute est très près du sol et qu'il a bien choisi son terrain, à ouvrir le panneau d'arrachement, ce qui provoque le dégonflement du ballon et son arrêt presque immédiat. Il suffira alors d'enlever la soupape et l'appendice, d'étendre et d'empaqueter l'enveloppe. Le voyage est terminé.

La connaissance approfondie du ballon, le courage et l'habileté des aéronautes ont permis de réaliser de véritables exploits. L'altitude est, dans la navigation aérienne, le facteur le plus intéressant au point de vue physiologique. La plus grande hauteur a été atteinte par le Dr Berson qui s'est élevé, en compagnie du Dr Zuring, jusqu'à 10.500 mètres. En France, M. Balsan a pu arriver jusqu'à 8.417 mètres. Rappelons également l'ascension célèbre du *Zénith* qui par deux fois monta au-dessus de 8.000 mètres et pendant laquelle moururent les deux savants Crocé-Spinelli et Sivel ; le troisième aéronaute, Gaston Tissandier, était le seul survivant du voyage.

La durée des ascensions est essentiellement variable. Le cube du ballon intervient comme l'état de l'air. La vitesse est également en rapport avec le vent. Elle atteint parfois 100, 150 kilomètres à l'heure. Mentionnons à ce sujet les records de distance sans escale (1.925 kil.) et de durée sans escale (41 h. 5') qui appartiennent tous deux au comte de La Vaulx. Signalons enfin les expériences de direction des ballons qui ont permis d'établir en dirigeable le record de 91 kilom. 128 en 3 heures 21 minutes (MM. Julliot et Juchmès), tandis que M. Santos-Dumont franchissait avec un aviateur à moteur 220 mètres en 21 secondes 1/5 soit une vitesse de 41 kilom. 292 à l'heure.

CHAPITRE PREMIER

LES IMPRESSIONS EN BALLON

On se figure généralement que l'on doit éprouver, en ballon, une vive impression de crainte causée, à la grande hauteur où l'on parvient, par le vertige et l'agitation de la nacelle. On imagine que la montée et la descente s'accompagnent des mêmes phénomènes de contriction cardiaque ressentis dans un ascenseur rapide, et que le voyage de l'aérostat, emporté par le vent, doit déterminer chez les passagers un véritable mal de mer. On ajoute à cela le danger résultant de la fragilité de l'enveloppe, l'absence de tout moyen de conduite, la venue des orages ou de la tempête. Ces appréhensions sont injustifiées. Un aéronaute expérimenté reste toujours le maître de son aérostat, quel que soit l'état de l'atmosphère ; cet aérostat est plus résistant, grâce à la souplesse de ses organes, qu'un appareil rigide. Il n'est pas enfin de lieu où l'on retrouve au même degré que dans la nacelle l'impression de calme et d'immobilité. Le ballon avance avec le vent, et c'est seulement en observant la terre que les aéronautes se rendent compte du chemin parcouru.

Ces phénomènes ont été observés aussi bien par les pilotes que par les personnes qu'ils emmenaient dans leurs ascensions. En lisant les récits de voyages aériens, nous retrouvons la trace de cette sensation très spéciale et déjà consignée par ceux qui font

un fréquent usage du ballon. « Il n'y avait plus de vent pour nous, écrit M. Santos-Dumont. Ce mouvement non ressenti de marche et de montée a quelque chose d'infiniment doux. L'illusion est absolue ; on croirait non pas que le ballon se meut, mais que la terre se retire de lui et s'abaisse. » Cette immobilité est également signalée par M. de la Vaulx et par M. Farman qui note « une espèce de douce mélancolie, une impression de calme au milieu d'un monde nouveau ». Gaston Tissandier remarque l'absence de vent quand on se meut horizontalement ; en outre, « le sentiment de calme, d'immobilité absolue est ce qui frappe le plus le voyageur. » Dans son très instructif *Vade mecum de l'aéronaute*, M. Georges Blanchet se demande si l'on peut « rendre sensible et expliquer à qui ne l'a point encore éprouvé, l'énorme impression de calme, d'isolement et d'immensité qui éblouit le spectateur pour la première fois emporté dans ce merveilleux domaine. Les sensations sont aussi diverses qu'est différente la mentalité de chacun des observateurs. Mais pas un n'échappe à l'impérieuse suggestion d'un calme saisissant et d'une trompeuse immobilité. » Enfin, Camille Flammarion a gardé le souvenir d'une « sensation unique, toute nouveile et très singulière : le mouvement qui nous emporte est complètement insensible pour nous... L'impression qui domine dans l'ascension est indéfinissable ; au bonheur de se trouver dans l'espace se joint la sensation d'un calme étrange, absolu. »

Les littérateurs et les artistes qui sont montés en ballon ont fait des constatations analogues. Nous les retrouvons, remarquablement décrites, dans le récit du voyage de Guy de Maupassant, de Paris à Heyst : « En une seconde, nous sommes partis. On ne sent rien ; on flotte, on monte, on vole, on plane. L'air est léger, si léger, si doux, si savoureux, que jamais de ma vie je n'avais respiré avec tant de bonheur. Un bien-être profond, inconnu,

m'envahit, bien-être du corps et de l'esprit, fait de nonchalance, de repos infini, d'oubli, d'indifférence à tout et de cette sensation nouvelle de traverser l'espace sans rien sentir de ce qui rend insupportable le mouvement, sans bruit, sans secousses et sans trépidations. » A son tour, Mme Sarah Bernhardt raconte sa promenade dans les nuages : « Pas un bruit, pas un souffle. Ce n'est pas du silence, c'est l'ombre du silence. C'est doux, estompé.... Il me plairait vivre toujours ainsi. » Nous rappellerons enfin, dans la magistrale préface de Paul Adam pour le *Vade mecum*, ce passage : « Que s'accomplisse l'enveloppement ouateux, que l'on flotte au milieu d'un clair brouillard, sous l'astre rond créé par le génie de l'homme afin de savoir les impressions des dieux, que l'on se blottisse au coin du panier suspendu, que l'on se laisse vivifier par l'air sain ; c'est le moment d'une quiétude jamais ressentie en bas. Quiétude choyée par le mystère changeant des nues. Quiétude sereine, éloignée de tous ces bruits qui nous fatiguent depuis notre naissance et qui, tout à coup, se sont apaisés enfin. On ne saurait dire comme il sied, la béatitude miraculeuse ressentie lorsque tumultes, murmures et frémissements même se sont tus. Le repos est complet. Ah ! l'unique, le salutaire remède de la neurasthénie. Pour la première fois, j'ai connu, dans les airs, le vrai loisir que nous vaut le silence absolu, rarement gâté par le bourdonnement très amoindri d'une automobile ou le chant fort lointain d'un coq. »

Cette impression si douce, si reposante, est-elle partagée par les personnes sujettes au vertige ? Il est facile de répondre par cette remarque générale, qu'il n'y a pas de vertige en ballon. Ceux-là mêmes qui ne sauraient se pencher sur un balcon ou se risquer au bord d'un précipice sans éprouver ces phénomènes d'attraction si pénibles, peuvent monter sans crainte dans un

aérostat. Le fait a été maintes fois consigné par des voyageurs auxquels cet accident était familier lorsqu'ils se trouvaient à terre. « Aucun vertige », note Camille Flammarion, et Nadar ajoute : « Et pas de vertige, jamais de vertige en ballon. Dans le ballon vous êtes, s'il en fut, le point unique, isolé dans l'espace. Pas de point de comparaison, partant, de vertige point. »

Nous trouvons dans les cliniques de Graves, la confirmation de ce phénomène. Graves constate que les individus atteints de vertige sont incommodés par des circonstances insignifiantes en apparence, et dont le mode d'action nous échappe complètement. « La contemplation prolongée d'objets qui se meuvent rapidement en ligne droite ou circulairement détermine chez beaucoup de personnes des étourdissements très prolongés. Les mêmes effets se produisent encore lorsqu'on regarde par la fenêtre d'un wagon en marche, lorsqu'on suit des yeux le cours d'un fleuve, du haut d'un pont, lorsque l'on considère une personne emportée par le mouvement rapide d'une escarpolette circulaire. » Il semble que ces conditions soient reproduites en entier dans la nacelle. Et cependant il n'en est rien. « Il est à peu près certain, ajoute Graves, que la sensation vertigineuse ne dépend pas seulement de la distance ou de la position de l'objet qu'on contemple ; il faut qu'il existe une sorte de communication non interrompue entre cet objet et le spectateur. Je m'explique : nous sommes pris de vertige lorsque, du haut d'une montagne, nous plongeons nos regards dans un précipice, ou bien encore lorsque nous considérons d'en bas le dôme qui couronne une église ; mais nous ne sommes pas étourdis lorsque nous considérons la terre du haut d'un ballon, ou lorsque nous contemplons la lune et les étoiles au zénith. »

M. Georges Blanchet essaye à son tour d'expliquer ce fait si singulier en apparence : « Le ballon étant, à de rares exceptions

près, toujours en mouvement, son point de projection sur le sol est constamment changé. Ce déplacement, lent bien souvent, doit malgré tout, par les modifications incessantes qu'il apporte aux impressions de la rétine, neutraliser les effets du vertige. Le nouveau venu n'ayant aucun terme de comparaison pour évaluer les hauteurs puisqu'il a le vide au-dessous de lui, est, par ce fait, déjà rassuré. Ce n'est point le cas des visiteurs de tours et clocher et des alpinistes non aguerris, qui voient sous eux se profiler, immobiles, les murs et les parois des précipices. »

Nous croyons également que cette absence de vertige tient à l'indépendance absolue du ballon. A terre, lorsqu'on se trouve dans un endroit dangereux ou qui paraît tel, et quand on voit le vide au-dessous de soi, on a conscience d'être mal soutenu, on craint que le support sur lequel on s'est placé, ne cède. D'où l'impression de peur et le vertige. Rien de semblable dans la nacelle ; il y a ici séparation complète avec la terre qui apparaît alors comme un élément absolument étranger. La masse de l'enveloppe au-dessus des voyageurs, le guide-rope qui marque, par son déplacement, la vitesse acquise, tout cela contribue à supprimer les causes d'attraction, partant, le vertige. Nous avons d'ailleurs constaté, pendant nos ascensions en ballon, que l'un de nous, sujet au vertige et qui ne peut se pencher hors d'une fenêtre sans en être atteint, n'était plus impressionné par le vide dès qu'il se trouvait dans la nacelle.

A défaut du vertige, il faut noter certaines sensations produites par l'état de l'atmosphère. C'est d'abord l'action du froid, déjà signalée par le physicien Charles en 1783. « Je passai en 10 minutes, écrit Charles, de la température du printemps à celle de l'hiver. Le froid était vif et sec, mais point insupportable. J'interrogeais alors paisiblement toutes mes sensations, je m'écoutais vivre, pour ainsi dire, et je puis assurer que, dans le premier

moment, je n'éprouvai rien de désagréable dans ce passage subit de dilatation et de température. » Le froid est, en effet, bien mieux supporté qu'à terre puisqu'il y a, en ballon, absence complète de vent. Par contre, le soleil frappe directement les aéronautes, et détermine assez souvent, en dépit de la basse température de l'air ambiant, de légers érythèmes.

Les modifications de l'état hygrométrique influent également sur les aéronautes. Camille Flammarion ressent, dans une ascension, un léger embarras de la gorge et de l'ouïe dû à la sécheresse de l'air. Du côté de l'ouïe, les variations de la pression barométrique peuvent produire aussi des bourdonnements, des battements, de la plénitude auriculaire. Nous étudierons, dans les chapitres suivants, le rôle de ces différents agents physiques dont Gaston Nadaud a constaté l'effet dans son *Voyage aérien* :

« . . . . . .
Mais l'air plus rare a, dans les cieux,
Ralenti mon élan rapide ;
Le froid me saisit, et mes yeux
Se sont couverts d'un voile humide. »

Signalons enfin les sensations spéciales que l'on ressent pendant la nuit, et que M. Georges Bans a signalées : « De dix heures du soir à une heure du matin, l'aéronaute, seul en nacelle, compte les minutes et le lest qu'il égraine peu à peu pour parer à la condensation du grand froid et être certain d'atteindre, en son frêle esquif, le si attendu lever du soleil. Il y a là quelques minutes pénibles, que l'on est heureux d'avoir bravement passées, malgré les frissons de sommeil..... Voilà la vraie solitude que l'on chercherait vainement ailleurs et qui a son charme poignant, pour qui sait analyser ses impressions. » Et à son tour, M. François Peyrey insiste sur le silence de la nuit : « Le silence, à cette altitude relativement peu élevée, devenait émotionnant, presque significatif... Où étions nous ?... Il est des minutes pendant lesquelles, vraiment, les aéronautes se sentent vivre. »

Nous avons recherché, pendant nos ascensions, quelles étaient nos diverses impressions. La montée s'effectue sans la moindre secousse, sans jamais rappeler la poussée de l'ascenseur. La tranquillité est complète, et ne s'amoindrit d'aucune émotion. La chaleur légère du départ fait place, vers 1.200 mètres, à une agréable fraîcheur. Pas le plus léger souffle de vent. A 1.200 mètres, l'accommodation de l'oreille s'effectue grâce à quelques mouvements de déglutition. Puis, à mesure que s'accroît l'altitude, la tendance au repos, à l'apathie, se développe. A 3.000 mètres, le travail devient pénible, la face se congestionne légèrement. Ces symptômes s'accentuent lorsqu'on s'assied dans la nacelle, et l'on éprouve alors une sensation de plénitude, de malaise, causée surtout par les impuretés de l'air dans cette nacelle, et qui s'atténue lorsqu'on se penche au dehors. L'énergie musculaire est diminuée, il faut un effort considérable pour soulever un sac de lest. Le froid assez vif vers 3.000 mètres, et représenté par un écart d'une vingtaine de degrés avec la température du sol au départ, se supporte très bien par suite du rayonnement de la lumière solaire. Enfin, il y a parfois, au-dessus de 3.000 mètres, des battements auriculaires qui peuvent être assez pénibles.

La descente, même très rapide, est, ainsi que la montée, reconnue seulement à l'examen du sol. Le seul phénomène bien net et assez fréquent consiste, à ce moment, dans une sensation de tension dans l'oreille, due au défaut d'équilibre en dehors et en dedans du tympan, et qui peut persister assez longtemps après l'atterrissage, lorsque les trompes d'Eustache ne se dilatent pas complètement. Nous avons constaté dans un cas la persistance de cette tension tympanique pendant plusieurs heures. Enfin, quand le voyage est terminé, les aéronautes éprouvent souvent une légère impression de fatigue.

Tels sont les phénomènes que l'on note pendant les ascensions en ballon sphérique. Dans les dirigeables, l'impression d'immobilité n'existe pas puisqu'on avance contre le vent. Il y a, de plus, des oscillations, du tangage, plus ou moins accentués suivant l'impulsion du moteur et la stabilité de l'appareil. Avec le ballon libre lui-même, on peut éprouver de violentes secousses pendant les orages, quand le ballon se trouve aspiré au centre des nuages dangereux. Enfin, dans des cas extrêmement rares, et qui ont pu s'observer avant les derniers perfectionnements apportés aux aérostats, il s'est produit à la suite d'un déchirement de l'enveloppe une chute brusque du ballon.

Nous reproduisons ici les impressions d'un aéronaute, M. Cottin, après l'accident survenu à son ballon *le Montgolfier*, le 14 juillet 1882 : « Le ballon est crevé ! Chose étrange, l'angoisse qui me serrait la gorge il y a quelques secondes a disparu soudain et les battements de mon cœur, qui, d'ordinaire, facilement s'émeut, n'ont pas redoublé. A quoi faut-il attribuer cette sorte d'insensibilité ? A une émotion trop violente ? A la secousse générale qui a mis toutes les parties de mon être en mouvement d'une façon uniforme ? Sans doute. Toujours est-il que cette première observation psychique me frappa. C'est ainsi que toutes les choses, même les plus minimes, devaient rester incrustées dans mon cerveau d'une façon ineffaçable... Mon compagnon, que j'ai consulté depuis, m'avoue avoir éprouvé, également à ce moment, un sentiment de malaise indéfinissable, vivement surmonté du reste... A partir de ce moment, une espèce de quiétude, d'inertie peut-être, s'empare de moi et mille souvenirs lointains se pressent, se heurtent devant mon imagination, puis les choses s'accentuent, s'éclairent ; alors le panorama de ma vie vient pour ainsi dire se dérouler devant mon esprit attentif. » Les deux voyageurs devaient du reste tomber sans se blesser dans la cour d'une

maison,tandis que le filet qui les maintenait s'accrochait sur uu toit.

La locomotion aérienne peut donc présenter certains dangers, mais dans de très rares circonstances. A son tour, la dépression barométrique, lorsqu'elle s'exagère, constitue un nouveau péril, par les altérations qu'elle détermine dans les différents organes ; il est, du reste, facile de combattre ces accidents par l'emploi d'un traitement approprié. Nous étudierons cette question des grandes altitudes au chapitre du mal en ballon.

CHAPITRE II

RECHERCHES SUR LES MODIFICATIONS DU SANG DANS LES GRANDES ALTITUDES

Si l'on examine le sang normal recueilli à la pression de 760 millimètres, on constate que les éléments figurés s'y présentent toujours dans les mêmes proportions. Leur numération s'effectue très exactement grâce au perfectionnement de la technique, et l'on arrive à des chiffres analogues qui peuvent encore varier suivant les auteurs, mais dans des limites trop étroites pour modifier les résultats.

En étudiant les statistiques des principaux hématologues, on constate que le nombre des globules rouges varie généralement entre 4.310.000 globules rouges par millimètre cube, chiffre de Malassez, et 5.500.000, nombre auquel est arrivé Hayem. Ces chiffres doivent être groupés suivant l'âge et le sexe, suivant aussi la méthode employée, et l'on obtient ainsi une moyenne de 5 millions de globules rouges chez l'homme, et de 4.500.000 globules rouges chez la femme.

Ces éléments varient très peu, en dépit du renouvellement constant du sang. Il y a, sans cesse, destruction des globules rouges liée à la réparation qui s'effectue dans les organes hématopoïétiques. Les globules rouges naissent, chez l'adulte, dans la moelle des os. On y trouve des éléments chargés d'hémoglobine avec un noyau, les globules rouges nucléés, réunis

en petits amas. Le noyau va au bord du globule, fait saillie et disparaît pour faire place au globule adulte. La présence, dans le sang, de globules nucléés, est l'indice d'une production très rapide et très abondante de globules. Ce sont ces globules nucléés que certains auteurs ont observés dans les ascensions en ballon.

Les globules rouges sont formés d'un stroma protoplasmique et contiennent de l'hémoglobine, substance rougeâtre, d'une constitution très complexe avec, surtout, du soufre et du fer, et qui peut être considérée comme un véritable ferment oxydant. Sa quantité s'apprécie par les procédés ferrométriques, chromatiques ou spectraux. On constate ainsi que la quantité d'hémoglobine varie suivant l'état du sang. On admet également que l'hémoglobine présente deux états : hémoglobine jeune et hémoglobine achevée, ayant la même quantité de fer, mais une valeur chromométrique différente.

La quantité normale de l'hémoglobine est, chez l'homme, de 13 à 14 pour 100, chez la femme, de 12 à 13 pour 100. Une proportion élevée d'hémoglobine jeune indique que le sang est en voie de réparation. Cette recherche est donc importante dans l'étude de l'hyperglobulie des aéronautes.

A côté des globules rouges, le sang contient des globules blancs, leucocytes, qui existent dans des proportions définies. On trouve 6,000 leucocytes environ par millimètre cube, soit 1 leucocyte pour 600 à 800 globules rouges. Les leucocytes à leur tour comprennent plusieurs groupes. Pour 100 leucocytes, il y a normalement 62 à 66 polynucléaires, 30 à 34 mononucléaires, 2 à 4 lymphocytes, 1 à 2 éosinophiles, 0,5 mastzellen. Ce rapport variera peu avec l'altitude.

Le plasma sanguin peut se modifier à son tour, et l'augmentation du nombre des éléments figurés est tantôt absolue, tantôt en

rapport avec les variations de volume du liquide. Il y a, suivant les cas, hyperglobulie vraie ou relative. La concentration ou la dilution du plasma ne s'effectue pas également en tous points, et de ce fait découleront les irrigularités de composition du sang observées dans les ascensions à de grandes hauteurs.

Enfin, la composition du sang diffère suivant les vaisseaux. Malassez a montré que le sang artériel et le sang veineux variaient chez un même animal, et au même instant. Ayant pris sur deux lapins du sang de la carotide et d'une veine de l'oreille, il a obtenu les résultats suivants :

	Lapin A	Lapin B
Sang artériel, ...	4,700,000	5,000,000
Sang veineux	4,900,000	5,800,000

L'écart entre ces chiffres est très sensible. Il ne tient pas au calibre des vaisseaux. Dans toutes les parties du système artériel, la répartition des globules est la même. Pour le sang veineux, au contraire, il y a des différences relativement énormes. Au niveau de la peau, le sang est plus riche en globules que dans les grosses veines et dans les artères. Dans la veine rénale, Malassez a constaté également une augmentation du nombre des hématies. Cela tient à la perte de liquide, sueur ou urine, qui concentre le sang. Cette concentration est en raison inverse de la quantité de sang passant à travers les capillaires. Dans une glande en activité, l'augmentation globulaire est ainsi moins grande que dans une glande à l'état de repos. Dans tous ces cas, l'on observe une hyperglobulie relative, liée uniquement à la concentration du plasma, et sans rapport avec la néoformation d'éléments figurés.

I. — MODIFICATIONS PORTANT SUR LE NOMBRE DES GLOBULES ROUGES.

1° Etat de la question avant les premières ascensions scientifiques en ballon.

Les premiers travaux relatifs à l'hyperglobulie des altitudes remontent à l'année 1862. A cette époque, Jourdanet, frappé des modifications apportées à l'organisme par l'altitude, cherche un rapport entre la dépression atmosphérique et le mal des montagnes.

Il rappelle dans ses études sur *l'air raréfié* et sur *le Mexique* que les chevaux et les mulets vivant sur les hauts plateaux sont peu vigoureux ; qu'il a été impossible d'importer à Mexico les courses de taureaux changées en un jeu dérisoire par la mollesse des combattants. La raréfaction de l'air peut seule expliquer ces phénomènes. Il y a désoxygénation des globules sanguins, ralentissement de la nutrition ; le cœur et la respiration sont accélérés. Pour la fatigue et le froid, ils n'interviennent que très secondairement. Jourdanet insiste enfin sur cette particularité que l'anémie se rencontre d'une façon constante chez les habitants des hauteurs, et imprime un cachet uniforme à toutes leurs maladies. Les affections inflammatoires à types aigus ont des réactions violentes de courte durée : bientôt apparaît l'adynamie ataxique ou typhoïde. C'est le cas de la pneumonie fréquente dans ces régions. Par contre les inflammations chroniques sont rares, « comme si les faibles ressources de l'organisme ne pouvaient y suffire ».

Enfin, la dépression atmosphérique favorise la stase veineuse et les congestions, par ralentissement de la circulation.

Ces observations et la méthode expérimentale de Jourdanet sont discutées, en 1882, par Paul Bert qui invoque surtout les modifications de l'hémoglobine du sang. Dans son travail sur la pression barométrique, il écrit : « On pourrait se demander si, par une compensation harmonique dont l'histoire naturelle générale nous offre bien des exemples, le sang serait devenu plus apte, soit par modification dans la nature ou la quantité d'hémoglobine, soit par une augmentation du nombre des hématies, à absorber plus d'oxygène sous un même volume et à revenir ainsi à la normale habituelle des bords de la mer. Mais, il est bien certain que pareil changement, s'il a lieu, ne peut être le fait que des dispositions transmises héréditairement et ne doit arriver à son complet développement qu'au bout de générations successives, en telle sorte qu'il expliquerait non l'acclimatement de l'individu, mais celui de sa race. » Cette dernière hypothèse concernant la disposition héréditaire ne peut se défendre et les travaux ultérieurs ont montré que l'acclimatement se faisait au bout de peu de temps, et pour chaque individu.

En même temps, au Congrès d'hygiène de Genève, Paul Bert fait connaître que le sang des animaux vivant à une altitude élevée absorbe plus d'oxygène, et se trouve, par conséquent, plus riche en hémoglobine que dans nos climats. Sur des échantillons de sang envoyés de La Paz (3.700 mètres), il a constaté que le sang des herbivores y absorbait 18 à 20 pour 100 de son poids tandis qu'il n'en absorbe que 10 à 12 pour 100 au niveau de la mer. Mais on a reconnu depuis que le chiffre de 12 pour 100 était inexact et inférieur à la normale (16 à 20 pour 100). Quant à l'augmentation du nombre des globules, les travaux de Viault allaient lui donner une confirmation qui semblait définitive.

Pendant un voyage au Pérou, en 1890, Viault recherche en effet si l'hypothèse de Paul Bert, concernant l'hyperglobulie, est exacte, et sa communication à l'Académie des Sciences l'indique ensuite comme évidente. Le jour de son départ de Lima il examine son sang, celui de ses compagnons et de plusieurs animaux qu'il emmène. Au bout de 15 jours, il arrive à Morococha, dans la Cordillère des Andes, à une altitude de 4.392 mètres. Il constate alors que son sang, comme celui des autres sujets examinés, présente une augmentation de 2 millions en moyenne par millimètre cube. Viault avait, à Lima, 5.000.000 de globules rouges, et à Morococha, à l'arrivée, 7.100.000 globules. Il a atteint même, au bout de huit jours de séjour, le chiffre de 8.000.000 de globules. De même, le sang des animaux révèle une hyperglobulie certaine, mais moins régulière. Il n'y a eu dans ces cas aucune adaptation héréditaire, mais bien prolifération des globules. De ces faits découle la théorie de l'hyperglobulie des altitudes.

A son retour en France, Viault entreprend l'ascension du Pic du Midi (2.877 mètres) ; mais cette fois il ne peut constater d'hyperglobulie chez lui. Parmi les animaux qu'il a emportés, les lapins, les cobayes, le coq ont une augmentation du nombre des globules : le chien n'en présente pas. Viault en conclut que « l'hyperglobulie ne se produit probablement d'une manière très intense qu'au-dessus de 3.000 mètres ».

De nombreux expérimentateurs tentent à leur tour de produire cette hyperglobulie. Egger à Arosa, en Suisse, à l'altitude de 1.800 mètres, la signale. Cependant, l'altitude est bien inférieure, dans ce cas, à celle de 3.000 mètres indiquée par Viault. Egger examine 18 personnes dont plusieurs tuberculeuses, chlorotiques ou neurasthéniques, et observe chez toutes de l'hyperglobulie qui commence dès l'arrivée à Arosa. Il y a à ce moment une augmentation moyenne de 400.000 globules rouges. Quinze jours

après, elle est d'un million. Les habitants d'Arosa ont, de leur côté, un chiffre moyen de 7.500.000 globules. Egger observe enfin que l'hyperglobulie décroît avec l'altitude et disparaît dès le retour dans la plaine.

A son tour, Mercier recherche, à Arosa, les modifications du nombre des globules. Comme Egger, il reconnaît l'hyperglobulie. Mais il fixe à une époque plus tardive le moment où le maximum est atteint. Suivant Egger, ce maximum s'obtenait au bout de quinze jours, les huit derniers ne fournissant déjà qu'un appoint très faible. Mercier recule au delà de trois mois l'équilibre globulaire. Au bout de cinq mois il retrouve encore une augmentation. Voici son tableau :

	A ZURICH avant le départ	A AROSA (1800 mètres d'altitude)	
		21e jour	5e mois de séjour
Dr Mercier	5.650 000	6.890.000	7.100.000
Sa femme	4.800 000	6.360.000	6.490.000
Sa fille aînée	5 200.000	6 300 000	6.500.000
Sa fille cadette	5.400.000	6.200.000	6.600.000
1er lapin	6.200.000	7.440.000	»
2e lapin	5 400.000	6.800.000	»

Ce tableau indique une augmentation de 800.000 à 1.500.000 globules rouges par millimètre cube. Cette augmentation se fait en deux étapes ; elle est brusque au début, et l'écart est considérable entre les chiffres de Zurich et ceux d'Arosa à la troisième semaine ; puis elle se fait graduellement, mais plus lentement, jusqu'au moment où le sujet sera acclimaté. Elle est aussi entravée par certaines circonstances. Ainsi Mercier note sur sa fille aînée les modifications produites par le séjour au lit. Après douze jours, il y a une diminution de 700.000 globules, qui réapparais-

sent dès le retour de la vie ordinaire. Le mouvement interviendrait donc pour beaucoup dans la constitution de cette hyperglobulie.

Les travaux de Mercier et d'Egger indiquaient, contrairement à l'opinion de Viault, qu'une altitude élevée n'était pas nécessaire pour obtenir l'hyperglobulie.

Un peu plus tard paraissent les travaux de Miescher et de ses élèves, Karcher à Champéry (1.052 mètres), Sutter à Serneus (958 mètres) et Veillon à Langenbruck (700 mètres). En comparant les résultats dans chacune de ces stations peu élevées on remarque qu'il y a partout hyperglobulie, mais que celle-ci est proportionnelle à l'altitude. L'augmentation va de 17 à 28 pour 100 chez l'homme, de 18 à 29 pour 100 chez le lapin. A leur suite, Jaruntowski et Schrœder trouvent à Gœrbersdorf (561 mètres) une augmentation de 6 à 800.000 globules chez l'homme et chez la femme. Les tuberculeux atteignent même le chiffre de 6.115.000 globules.

Ce développement de l'hyperglobulie suivant l'altitude a pu être présenté sous forme de tableau par Kœppe pour lequel toute différence de niveau, même minime, doit modifier la teneur du sang en globules. Il arrive à la progression suivante :

AUTEURS	LOCALITÉS	ALTITUDE	CHIFFRES MOYENS D'HÉMATIES
Laache	Christiania	»	4.974.000
Schaper	Gœttingen	148 m.	5.235.000
Reinert	Tübingen	324 m.	5.322.000
Stierlin	Zurich	412 m.	5.752.000
Kœppe	Auerbach	400 à 500 m.	5.748.000
—	Reiboldsgrün	700 m.	5.970.000
Egger	Arosa	1.800 m.	7.000.000
Viault	Morococha	4.392 m.	8.000.000

L'ensemble de ces chiffres fait admettre par Schaumann et

Rosenqvuit, que la polyglobulie des altitudes est figurée par une courbe qui s'élève régulièrement jusqu'à 1.800 mètres, pour se rapprocher davantage de l'horizontale au-dessus de cette altitude. Et, à son tour, Marie écrit : « La concordance entre l'augmentation de l'altitude et celle du nombre des globules est telle, qu'en l'absence du baromètre, on pourrait presque s'en rapporter au chiffre des globules rouges du sang des habitants d'un village pour en fixer l'altitude. »

Cependant, en examinant ce classement si régulier en dépit de la diversité des expérimentateurs et de leur technique, on doit noter que ces chiffres ont été choisis avec soin parmi ceux fournis jusque-là. Si Viault figure avec les résultats obtenus dans la Cordillère des Andes, il n'est plus tenu compte de son ascension du Pic du Midi.

L'examen des travaux effectués pendant cette période a permis à André Mayer et Armand-Delille, de dresser, en regard du tableau de Kœppe, des tableaux contradictoires. Ils remarquent que l'on ne peut ordonner certains chiffres suivant une série proportionnelle à l'altitude. Ainsi :

Stierlin, à Zurich (412 m.) a trouvé	5.732.000
Jaruntowski et Schrœder, à Gorbersdorf (561 m.).	5.800.000
Karcher, à Champéry (1.052 m.)	5.712.000

Chiffres à peu près égaux malgré des différences d'altitude de 600 mètres.

De même :

Rudovici, à Leysin (1.470 m.), a trouvé.	6.048.000
Wolf, à Reiboldsgrün (700 m.), a trouvé	6.200.000

Si l'on étudie, à la même altitude, dans la même station, les chiffres présentés par différents auteurs, on trouve des écarts qui peuvent être considérables :

A Davos, Kundig trouve	chez l'homme	6.551.000
	chez la femme	5.804.000
et Von Voornfeld,	chez l'homme	6.099.000
	chez la femme	5.008.000

A Arosa, Rœmisch trouve une augmentation de 26 pour 100, Oliver de 10 pour 100 seulement.

Enfin, de même que Viault, à 2.877 mètres, sur le Pic du Midi, n'a pas découvert d'hyperglobulie chez l'homme, Koblbrugge et Eijkman, sur les hauts plateaux de Java, trouvent un chiffre égal ou même inférieur à celui de la plaine, Lœwy et Zuntz, à 3.600 mètres, n'ont pas non plus d'hyperglobulie.

Pour résumer cette première série d'expériences antérieures aux observations scientifiques recueillies en ballon, nous constaterons que les auteurs qui, depuis Jourdanet et Paul Bert, se sont occupés de la question, se contentaient pour la plupart d'examiner sur l'homme, à diverses altitudes, les modifications du nombre des hématies. Le sang destiné à leurs expériences était recueilli en piquant la pulpe du doigt ; mais aucun expérimentateur n'avait songé à étudier la circulation centrale après la circulation périphérique. La plupart ne fournissaient pas le tableau comparatif de l'état du sang dans la plaine et dans la montagne. Enfin il n'était tenu compte, nulle part, des autres facteurs qui pouvaient influer sur la circulation périphérique, le froid, la sécheresse, l'humidité par exemple. Les auteurs négligeaient également de mentionner le mode d'ascension, sa difficulté et la fatigue déployée.

Leurs statistiques, forcément incomplètes, étaient contradictoires pour certaines, et notamment en ce qui concerne l'hyperglobulie du début.

Les expériences faites sur les animaux ne sont pas plus concluantes que les précédentes. Cependant, quelques auteurs ont examiné le sang prélevé dans les gros vaisseaux, mais sans com-

pléter leur travail par l'examen du sang recueilli à la périphérie. D'autres ont joint à la numération du sang le dosage de l'hémoglobine. C'est ainsi qu'Egger trouve chez dix lapins, après un mois de séjour à Arosa, une augmentation de 24 pour 100. Muntz trouve également une augmentation du taux de l'hémoglobine, que conteste Abderhalden.

A la numération du sang, de rares auteurs ajoutent son examen histologique. Mercier est frappé, à Arosa, de la grande quantité de microcytes existant dans le sang. Ces microcytes d'un diamètre moyen de 5μ à 5μ5, inférieur de 2μ à celui des globules adultes, de forme régulièrement sphérique, présentant une coloration plus foncée au niveau des bords, sont très mobiles, se tassent difficilement dans la cellule de numération, et paraissent analogues aux globules nains de l'adulte normal. Mercier a observé jusqu'à 200 globulins sur 800 globules, chez sa fille. De plus, leur nombre va en augmentant jusqu'au neuvième jour, puis diminue à mesure que l'acclimatement se fait.

Ces résultats, très en faveur d'une hyperglobulie véritable, sont appuyés par ceux d'Egger. Dans leurs recherches de laboratoire Schaumann et Rosenqvuist constateront à leur tour la présence d'hématies nucléées.

Un dernier groupe d'auteurs essaye, en effet, par le contrôle du laboratoire, d'expliquer les divergences d'opinion constatées jusque-là. A côté de Schaumann et Rosenqvuist qui maintiennent sous la cloche d'une machine pneumatique des lapins, des chiens et des pigeons, et qui observent, à la pression de 450 à 480 millimètres de mercure prolongée pendant 2 à 5 semaines, une forte augmentation du nombre des globules et la présence, chez les pigeons, d'hématies nucléées, un autre expérimentateur, Sellier, cherche par quel intermédiaire agit cette diminution de pression. Il détermine d'abord une hyperglobulie expérimentale en com-

primant directement la trachée. Il place ensuite sous une cloche spéciale, une caille qui vivra à la pression de 760 millimètres, mais avec une quantité d'oxygène diminuée. Lorsque le chiffre de l'oxygène atteint 40 pour 100, un séjour de quatre jours donne les résultats suivants :

	Avant l'expérience	Après l'expérience
1re caille	2.200.000 gl. r.	2.225.000
2e —	2.420.000 —	2.370.000
3e —	3.640.000 —	3.540.000

La diminution de l'oxygène paraît donc le facteur principal de l'hyperglobulie des altitudes, analogue en cela à l'hyperglobulie obtenue par la diminution du champ de l'hématose.

Ces travaux de laboratoire terminent la série des études sur l'hyperglobulie des altitudes avant les premières ascensions en ballon. Une grande confusion existe à ce moment. Si la numération a fait reconnaître souvent une augmentation des globules rouges, elle a fourni ailleurs des renseignements contradictoires. Les examens histologiques, le laboratoire n'ont pas donné de conclusions satisfaisantes. C'est à ce moment que des observateurs auront l'idée de répéter, en ballon, les expériences effectuées dans les stations d'altitude. Dès lors apparaîtront de nouveaux facteurs négligés jusque-là, qui permettront d'expliquer les résultats anciens, et qui ramèneront sur le terrain actuel la question de l'hyperglobulie. Les avantages du ballon sont, en effet, considérables. On réalise, grâce à lui, des variations rapides d'altitude, et ces altitudes sont atteintes en dehors de toutes causes d'erreur, comme par exemple la fatigue de l'ascension. Remarquons toutefois que les recherches en ballon ne doivent être effectuées qu'après avoir préparé soigneusement la technique des expériences. Dans la nacelle, la place est très limitée : les examens directs au microscope sont presque impossibles. Il faut attendre

plusieurs heures, souvent même le lendemain, pour étudier le sang prélevé pendant l'ascension. L'équilibre du ballon est difficile à conserver lorsqu'on se trouve à de grandes altitudes, et les travaux doivent être très rapidement effectués si l'on veut éviter des écarts de plusieurs centaines de mètres. Enfin, à une même altitude, le passage d'un nuage suffit à modifier la température et l'état hygrométrique de l'air. Remarquons cependant que ces difficultés ne sont pas insurmontables. Dans ces conditions, les observations faites dans la nacelle, et contrôlées par les expériences de laboratoire que l'on effectuera à la même pression sous la cloche d'une machine pneumatique, vont fournir aux expérimentateurs les données qui leur manquaient auparavant, et leur permettront de fixer sur de nouvelles bases les notions d'hyperglobulie des aéronautes.

2° Les premières ascensions scientifiques et l'hyperglobulie vraie.

La première série de travaux relatifs à la numération du nombre des globules avait donné des résultats favorables à l'hyperglobulie. Cette hyperglobulie signifiait qu'un trouble notable était apporté à l'une des fonctions du sang, la nutrition des tissus par l'oxygène. Il y avait, dans l'ascension aux grandes altitudes, un danger, celui de la désoxygénation, auquel remédiait l'organisme en multipliant le nombre de globules mis au contact d'un air pauvre en oxygène. L'équilibre s'établissait grâce à ce moyen de défense d'ailleurs incomplet jusqu'à la période d'acclimatement. De là découlaient les accidents observés à ces altitudes, le mal des montagnes et le mal en ballon. L'aéronaute qui s'élevait dans les hautes régions de l'atmosphère luttait, grâce à

ses organes hématopoiétiques, contre les dangers de mort par asphyxie, et cette prolifération globulaire ne suffisait pas toujours à enrayer les accidents ; c'est ce qui s'était produit lors de l'ascension du *Zénith*. Nous examinerons, au chapitre du mal en ballon, quelle est la pathogénie de ce phénomène. Indiquons cependant, dès à présent, que les premiers examens de sang effectués au cours d'ascensions en ballon devaient amener des conclusions encore incertaines et parfois contradictoires.

En 1901, J.Gaule communique à l'Académie des Sciences, les résultats d'expériences qu'il a effectuées durant deux ascensions en ballon. Dans son premier voyage, l'examen du sang périphérique prélevé à 4.700 mètres d'altitude lui a permis de vérifier la très grande augmentation du nombre des globules. En outre, l'hémoglobine diminue pendant que les hématies se multiplient ; le fait est en faveur d'une hyperglobulie vraie. Si, en effet, il y avait eu simple accumulation de globules à la périphérie par concentration du sang, le chiffre de l'hémoglobine se serait étendu dans le même sens.

A la suite d'une seconde ascension, à 4.200 mètres, J. Gaule observe la présence de très nombreux globules rouges avec noyaux teints en bleu par la méthode d'Ehrlich. « Ce noyau est souvent en état de segmentation ; on trouve des groupes de trois ou quatre corpuscules comme s'il y avait eu subdivision. » Ce sont les mêmes globules nucléés qui apparaissent dans le sang en voie de grande prolifération pour une cause pathologique.

Cette nouvelle observation complète la précédente, et « montre qu'il y a vraiment formation de globules quand on arrive à une grande hauteur et que ce phénomène se produit avec une très grande rapidité ».

Enfin, avant l'ascension et au retour de celle-ci, l'examen du

sang n'a permis en aucun cas de retrouver ces phénomènes de fragmentation ou de division.

A la fin de la même année, le Dr Guglielminetti propose d'organiser une série d'ascensions qui auraient pour objet l'étude de certains phénomènes physiologiques, et, entre autres, celui de la prolifération globulaire. Les ascensions ont lieu au mois de novembre 1901 sous le patronage de l'Aéro-Club de France.

Le premier de ces expérimentateurs, Raoul Bensaude, part dans le ballon *Quo Vadis* piloté par M. Bacon. Il s'est proposé de vérifier « si l'ascension en ballon s'accompagne d'une hyperglobulie rapide, et si cette hyperglobulie coïncide avec des modifications de la densité du sang ou avec la pénétration dans le courant circulatoire d'éléments nouveaux ».

La première partie de ce programme a trait au volume occupé par les globules rouges dans le sang complet. En raison des phénomènes de vaso-constriction périphérique, Bensaude prend du sang dans la carotide d'un chien. L'animal est ligotté au début de l'ascension, puis détaché à 3.000 mètres. La quantité de sang recueillie par ponction de la carotide est de 66 grammes, soit environ 7 pour 100 du poids de l'animal tout entier (9 kil. 500). On évite, grâce à cette méthode, les altérations produites sur une seule goutte par l'évaporation. Le sang est ensuite défibriné ou oxalaté, puis centrifugé pendant cinq minutes dans un hématocite muni de deux pipettes graduées. La première contient du sang prélevé avant le départ ; l'autre, le sang recueilli à 3.000 mètres. Les résultats sont les suivants :

Entre 2.000 et 2.300 mètres, on ne constate pas de modification du volume des globules dans les deux pipettes. Entre 4.000 et 4.400 mètres, l'augmentation de volume est au contraire de 4 à 6 pour 100. Enfin, après la descente, cette augmentation n'est

plus que 2 pour 100. Elle persiste donc quelque temps après l'ascension.

Bensaude étudie ensuite la densité du sang. Il prend 6 centimètres cubes du sang de chien oxalaté, qu'il pèse à la température de 16 degrés. Les poids obtenus aux différentes altitudes sont comparés avec ceux de l'eau distillée.

Entre 2.000 et 2.300 mètres le poids du sang = 1.06110 (T. = 3° à + 5° centigrades).

Entre 4.000 à 4.400 mètres le poids du sang = 1.06525 (T. = 3° à + 5° centigrades).

A terre, au retour, le poids du sang = 1.06012 (T. = 0°).

Il y a donc, à 4,000 mètres, une légère augmentation qui ne persiste pas après la descente.

Enfin, les expériences sont complétées par l'examen histologique des préparations de sang sec. Le sang recueilli est celui de l'homme et du pigeon. Sur aucune lamelle, Bensaude ne retrouve, dans le sang humain, des globules rouges à noyau. Le diamètre des globules est celui-ci.

	à terre	Entre 4.000 et 4.400
Globules mesurant plus de 7 μ 1/2 . . .	4,24 pour 100	2,4 pour 100
— 7 μ à 7 μ 1/2.	78,39 —	82,4 —
— 6 μ 1/2 à 7. .	10,59 —	11,2 —
— 5 μ à 6 1/2. .	5,93 —	3,2 —
— moins de 5 μ.	0,85 —	0,8 —

Nous rappellerons à ce propos que Mercier avait signalé, à Arosa, chez sa fille, plus de 200 globulins, d'un diamètre moyen de 5 μ à 5 μ 5, sur 800 globules. Viault avait trouvé également, à 3.000 mètres, de nombreuses hématies de petit diamètre. Le tableau présent diffère donc sensiblement des précédents.

Pour conclure, Bensaude, tout en reconnaissant qu'il s'attendait à des résultats opposés, les considère cependant comme conformes

aux faits connus jusqu'alors et concernant la fixité de composition du sang. Ainsi qu'Achard l'a fait remarquer, « ils sont en harmonie avec cette tendance à l'équilibre dont l'organisme vivant nous offre tant d'exemples ».

Les phénomènes observés par Bensaude sont d'accord avec ceux qu'a remarqués Jolly. Parti, le 21 novembre 1901, dans le ballon *Le Titan* que conduisait M. Farman, Jolly s'était proposé :

« 1°. — De voir si l'hyperglobulie des altitudes se produisait brusquement pendant l'ascension en ballon, fait déjà constaté par Gaule à Zurich ;

« 2°. — Dans le cas où cette hyperglobulie se produirait, de rechercher si elle s'accompagnait des phénomènes histologiques qu'on peut observer au cours des régénérations sanguines rapides, en particulier de l'apparition de globules rouges nucléés déjà signalés par Gaule dans ses examens. »

Pour mener à bonne fin ces expériences, Jolly avait préparé une technique appropriée au milieu dans lequel il allait travailler ; il fallait avant tout tenir compte de l'impossibilité d'examiner directement le sang dans la nacelle, aussitôt après la piqûre. Le procédé employé a été le suivant :

« Pendant l'ascension, avec un même mélangeur Potain, je faisais des mélanges de sang et de sérum de Marcano qui conserve très bien les globules rouges. Ces mélanges étaient recueillis dans de petits tubes fermés avec des bouchons de caoutchouc. Les numérations ont été faites le lendemain de l'ascension, au laboratoire, avec le compte-globules de Malassez. Des numérations de contrôle m'ont montré que dans ces conditions, il ne se faisait, dans les tubes, aucune concentration appréciable. Au moment de faire une numération, on laissait tomber, dans le tube à examiner, une petite perle de verre, et on agitait doucement le tube fermé jusqu'à production d'un mélange homogène. »

Plusieurs prises de sang ont été effectuées pendant l'ascension. Le sang était obtenu par piqûre de la pulpe du doigt. Les numérations ont donné les résultats suivants :

	Globules rouges.
12 h. 30, à terre	4.760.000
1 h. 50, 1.100 à 1.600 mètres	5.450.000
2 h. 15, 3.000 mètres	5.060.000
2 h. 40, 4.000 mètres	5.210.000
3 h. 2, 4.450 mètres (T. = 4°)	5.750.000
3 h. 32, 2.600 mètres	4.800.000

Ce tableau montre que, pendant la montée, il y a une augmentation de globules rouges qui atteint un million à 450 mètres, soit une proportion de 12 pour 100. A la descente, les chiffres reviennent très rapidement à la normale, avant même que les aéronautes aient atterri. Jolly remarque, en outre, que le chiffre élevé de globules rouges, à 1.100 mètres, doit être attribué à une erreur de technique. Enfin, la partie descendante du crochet ainsi produit est en rapport avec la traversée de la couche de nuages. Le fait, constaté par Jolly, recevra son explication dans la suite, lorsqu'on étudiera les rapports de l'état hygrométrique de l'air avec la concentration du sang à la périphérie.

Pour la nature même des hématies numérées, elle ne varie pas d'une façon appréciable pendant l'ascension. Comme Bensaude Jolly ne trouve pas un seul globule nucléé dans ses préparations. Le diamètre même des globules, évalué avec la méthode de Malassez, ne présente qu'une « très légère diminution qui peut rentrer à la rigueur dans les limites d'erreur, Nous n'avons vu ni poikilocytose, ni augmentation des petits globules rouges (microcytes), ni augmentation des granulations libres ».

En résumé, Jolly constate une augmentation bien nette du nombre des globules rouges sans modification de la formule histologique de ces hématies. Mais il ne tente pas de donner

l'explication de ces faits après une seule ascension. Cette conclusion peut être rapprochée de celle de Bensaude qui, lui aussi, n'a pas trouvé de changement dans l'aspect des globules, et qui, de plus, étudiant le sang des carotides, est arrivé à une proportion de 4 à 6 pour 100 de nouvelles hématies, tandis que Jolly, dans le sang périphérique, atteignait 12 pour 100. Ces résultats seront confirmés dans les recherches ultérieures.

La série d'ascensions scientifiques organisées, en 1901, par l'Aéro-Club de France, se complète, en ce qui concerne l'étude du sang, par le départ de Calugareanu et Victor Henri qu'accompagne M. Bacon. Le programme des expérimentateurs consistait dans une contre-épreuve des expériences précédentes. Il s'agissait de comparer le sang périphérique avec celui des vaisseaux profonds, ce double examen n'ayant jamais été effectué durant la période qui précédait les premières ascensions en ballon. Victor Henri et Calugareanu emmènent trois chiens de 10 à 12 kilogrammes. Les deux premiers sont normaux. Le troisième a été splénectomisé cinq mois auparavant, et s'est bien porté depuis cette époque. Le sang est recueilli par piqûre d'une veine de l'oreille. En outre, sur un chien, on prélève 25 centimètres cubes de sang dans l'artère fémorale, avant le départ et à 3.000 mètres.

La numération des globules du sang périphérique donne les résultats suivants :

Chien A, normal :

Nombre de globules :

En bas.	7.884.000	globules rouges
A 2.200 m.	8.944.000	—
A 3.000 m.	9.880.000	—

soit une augmentation de 14 pour 100 à 2.200 mètres et de 26 pour 100 à 3.000 mètres.

Chien B, normal :

En bas.	7.648.000 globules rouges
A 3.000 m.	8.972.000 —

soit une augmentation de 17 pour 100 à 3.000 mètres.

Chien C, dératé :

En bas.	7.928.000 globules rouges
A 2,200 m.	8.356.000 —
A 3,000 m.	8.892.000 —

soit une augmentation de 5 pour 100 à 2.200 mètres et de 11 pour 100 à 3.000 mètres.

Le chien dératé présente ainsi, comme les chiens normaux, de l'hyperglobulie. Elle est surtout considérable à 3.000 mètres ; à cette altitude, la pression barométrique était de 520 millimètres de Hg. La température, de 12° à terre, tombait à 0° à 3.000 mètres.

En dehors de cet examen du sang périphérique, les auteurs analysent le sang de la fémorale du chien B, mélangé avec une quantité déterminée de fluorure de sodium. Le dosage donne les chiffres suivants :

Densité (déterminée par la méthode du flacon sur 14 cc. de sang) :

A terre : 1.061 ; à 3.200 mètres : 1.062.

Azote total (méthode de Kjeldahl sur 5 cc. de sang) :

A terre : 3 gr. 16 d'Az pour 100 cc. de sang ; à 3.200 mètres : 3,14 pour 100.

Fer (dosage de Lapicque).

En bas : 0, 56 ; à 3.200 mètres ; 0,53.

Le dosage du sang de la fémorale, à 3.200 mètres, donne des chiffres analogues à ceux obtenus à terre, avant le départ. Les différences sont dans les limites des erreurs possibles. Le sang central, pris sur une grosse artère, ne présente donc pas le même

phénomène que le sang périphérique et ne se modifie pas sous l'influence de l'altitude.

Pour achever l'étude des premières ascensions en ballon, signalons la communication d'Abderhalden qui déclare n'avoir jamais rencontré d'hématies nucléées dans les prises de sang effectuées plusieurs fois en aérostat. De leur côté, Schrœtter et Zuntz n'ont pas trouvé non plus la trace d'une néoformation de globules.

Il résulte de ces divers travaux que Gaule seul a observé en ballon, à 4.200 et 4.700 mètres, non seulement une multiplication immédiate du nombre des globules rouges, mais aussi l'apparition d'hématies nucléées. Jolly note une augmentation des globules rouges sans modification histologique appréciable du sang. Bensaude trouve, à 4.000 mètres, dans la carotide du chien, un chiffre de globules supérieur de 4 à 6 pour 100 seulement à celui reconnu à terre ; il ne signale ni globules à noyau, ni poussée de petits globules jeunes. Cette opinion est partagée par Abderhalden, Schrötter et Zuntz.

Des expériences de laboratoire, destinées au contrôle des recherches effectuées en ballon, sont faites à cette époque par Ambard et Beaujard qui étudient les effets de la dépression barométrique de courte durée sur la teneur du sang en hématies. Nous avons montré la nécessité de ces travaux qui servent de corollaire aux précédents. L'attention d'Ambard et Beaujard avait été attirée sur l'incertitude des résultats. L'hyperglobulie n'était ni proportionnelle à l'altitude, ni même équivalente et à une même hauteur dans les circulations centrale et périphérique. Enfin, en ce qui concerne les rapports de la circulation centrale avec la circulation périphérique établis par Bensaude, Victor Henri et Calugareanu, « ces recherches faites avec l'hématocrite et le colorimètre étaient susceptibles d'une double interprétation : ou bien

pas de variations du nombre des globules, ou bien variation du nombre des globules, mais avec variation inverse de leur taille ».

La technique employée par Ambard et Beaujard est celle-ci : « Les chiens en expérience étaient enfermés dans une caisse d'une capacité de 100 litres. Le vide était fait par la trompe à eau ; de l'air frais se trouvait constamment admis par un tube capillaire. Le sang était prélevé dans l'artère crurale, il en était recueilli environ 9 centimètres cubes dans une éprouvette contenant déjà un centimètre cube de la solution concentrée de fluorure de sodium. De ce mélange, une partie était réservée à l'hématocrite, l'autre à la numération des globules.

« A la pression normale, la prise du sang est des plus simples. Sous le vide, elle exige un dispositif spécial. La crurale est coupée entre deux ligatures : sur le bout central, une pince est appliquée près de l'arcade fémorale, de manière à laisser libre un segment de vaisseau long de 2 à 3 centimètres ; c'est là qu'est introduite une canule munie d'un tube de caoutchouc qui traverse la paroi de la caisse pour déboucher dans une éprouvette où est fait le vide partiel. Le chien est alors enfermé dans une caisse, et c'est du dehors qu'on déclanchera la pince pour permettre au sang de jaillir dans les tuyaux. A cet effet, la pince est construite de telle sorte qu'elle tende normalement à s'ouvrir grâce à un élastique en caoutchouc ; mais elle est maintenue fermée par la tension d'un fil de chanvre. Autour de ce fil s'enroule un mince brin de cuivre qu'on fait rougir par le courant électrique. A ce moment, le fil de chanvre brûle, l'élastique ouvre la pince, le sang se précipite par la canule et les tubes jusque dans l'éprouvette. »

Deux expériences sont effectuées à l'aide de ce dispositif.

1re *expérience.* — On place un chien pesant 5 kilogrammes 5

dans la caisse,et on abaisse progressivement la pression pendant 32 minutes jusqu'au chiffre de 450 millimètres de Hg. On fait alors couler le sang dans l'éprouvette :

	Volume des globules	Nombre des globules
Sang normal supposé. . . .	100	»
Sang sous le vide	101,6	»

2e *expérience.* — On abaisse progressivement la pression jusqu'à 450 millimètres de Hg. pendant 35 minutes. Puis on prélève le sang :

	Volume des globules	Nombre des globules
Sang normal supposé. . . .	100	6.400.000
Sang sous le vide	100	6.176.100
		Soit 3/2 pour 100.

Il résulte de ces expériences que le sang artériel ne paraît pas présenter une augmentation du nombre des globules, même lorsqu'on soumet l'animal à une dépression de 450 millimètres de mercure. L'hyperglobulie constatée dans les ascensions lorsqu'on prélève du sang à la périphérie, n'est pas absolue, et doit dépendre des phénomènes vaso-moteurs produits par exemple par le froid, et capables de modifier en quelques instants le degré de concentration du sang. Ces expériences de laboratoire vérifient donc les faits observés en ballon. Elles sont également en faveur de l'hypothèse d'une vaso-constriction qu'avaient déjà proposée Hallion et Dominici.

Tel est l'état de la question en 1902. Fernand Bezançon et Marcel Labbé résument dans leur *Traité d'hématologie* les diverses explications de l'hyperglobulie. L'erreur de technique avait été indiquée en 1900 par Gottstein. A son avis,les dimensions de la chambre du compte-gouttes de Thoma-Zeiss augmenteraient à la suite de la dépression atmosphérique, la lamelle étant moins fortement ap-

pliquée. Mais les numérations s'effectuent à terre et non en ballon, et cette opinion ne peut donc se soutenir.

La concentration par évaporation est invoquée par Grawitz, Bungo, Malassez, Abderhalden. L'évaporation augmente au niveau de la peau quand la pression diminue. En même temps, les poumons dégagent plus de vapeur d'eau. Cependant cette évaporation est peu considérable par rapport à la multiplication des globules rouges, et, si l'on admettait cette théorie, il faudrait, pour correspondre à cette hyperglobulie de 15 à 25 pour 100 vérifiée en ballon, une perte de sérum allant d'un demi-litre à un litre.

Le troisième mécanisme, proposé par Schumburg et Zuntz, Lœwy, est celui de la répartition inégale des globules rouges : plusieurs facteurs, le froid, la lumière intense, la fatigue, l'activité de la respiration déterminent ces phénomènes de vaso-motricité. Nous avons vu que cette théorie semblait découler des expériences de laboratoire d'Ambard et Beaujard. Ajoutons dès à présent, que dans la période suivante, la répartition inégale des globules rouges sera vérifiée et reconnue comme la cause de l'hyperglobulie des aéronautes.

Enfin, à cette époque, une dernière explication est donnée à ce phénomène par les auteurs admettant une répartition différente, puis l'hypergénèse et une multiplication réelle. Kœppe croyait à une augmentation initiale du nombre des globules rouges par division directe des hématies dans la circulation, puis, dans la suite, à une hypergénèse véritable des globules rouges. La communication de Gaule, relative aux hématies nucléées, est en faveur de l'hypergénèse.

Mais déjà, les expériences de Jolly et Bensaude, en France, d'Abderhalden, Schrötter et Zuntz à l'étranger, ont permis à ces auteurs de nier la présence dans le sang des hématies de néoformation. A son tour, Grawitz déclare que les hématies nucléées

n'existent pas dans les ascensions, et que, à la descente, le nombre des hématies diminue rapidement et sans troubles pathologiques, ce qui ne pourrait s'admettre dans le cas d'une hypergénèse véritable.

C'est à ce moment que paraît la thèse de Quiserne sur *les Polyglobulies*. Ce nouveau terme de polyglobulie désigne l'ensemble « de ces états physiologiques ou pathologiques jusqu'ici classés sous le terme générique d'hyperglobulies et caractérisés par l'augmentation du nombre des globules rouges du sang, qu'il y ait ou non augmentation de la masse. La polyglobulie ne s'accompagne pas fatalement d'une augmentation de la masse comme pourrait le faire croire le terme hyperglobulie. Bien plus, c'est seulement dans des cas assez rares, que nous avons noté cette augmentation de la masse ; dans d'autres, au contraire, et non les moins nombreux, l'augmentation de la masse fait place à une diminution, ou bien encore le globule garde son aspect normal. On ne pourrait donc vraiment donner le nom d'hyperglobulie qu'à l'état pathologique du sang où, à l'augmentation du nombre des globules, s'ajouterait l'augmentation du diamètre, si l'on veut respecter l'étymologie du mot hyperglobulie. Aussi, croyons-nous qu'il serait préférable de se servir du terme polyglobulie, ou de polycythémie, comme le fait Limbeck dans son *Traité de pathologie clinique du sang*, pour désigner l'état caractérisé par l augmentation du nombre des hématies dans le sang. Cette dénomination aurait l'avantage de ne pas préjuger des changements physiques des globules. De plus elle aurait encore, à notre avis, l'avantage de servir à une classification plus rigoureuse des polyglobulies. Celles qui s'accompagneraient d'une augmentation du diamètre des globules seraient dites polyglobulies avec hyperglobulie ; celles, au contraire, au cours desquelles les diamètres glo-

bulaires resteraient égaux, ou inférieurs aux diamètres normaux, seraient appelées polyglobulies sans hyperglobulie. »

Nous avons indiqué les travaux de Malassez qui rappelle la différence de composition du sang dans la circulation profonde artérielle et dans la circulation périphérique veineuse. Le point de départ de ces variations réside dans le réseau capillaire périphérique, soumis à des actions vaso-motrices extérieures, le froid, la chaleur, la sécheresse par exemple. Il en est de même du rein et des glandes en activité. Ces phénomènes suffisent à produire une polyglobulie locale qui ne s'associe pas à une polyglobulie profonde. Les expériences de laboratoire de Beaujard et Ambard, d'Hallion et Tissot, ont désigné le froid comme un des principaux facteurs de la polyglobulie des altitudes.

A son tour, Quiserne divise les polyglobulies en relatives et vraies. Ces dernières sont causées par une néoformation : les premières résultent uniquement de la concentration plus ou moins grande du plasma sanguin, et dont la conséquence est la présence d'un nombre supérieur d'hématies dans une goutte de sang.

La polyglobulie relative se rencontre dans un certain nombre de cas. Au point de vue physiologique, on aura l'influence des nerfs vaso-moteurs. Le système nerveux sympathique a pour but de contracter normalement les vaisseaux ; son excitation augmente cette contraction ; sa paralysie la fait disparaître. Suivant Malassez, personne n'ignore qu'après la paralysie du sympathique, le sang sort plus rouge et en plus grande quantité ; l'auteur est alors amené à chercher si, dans les vaisseaux paralysés, l'augmentation globulaire notée au niveau de la peau était moindre que dans les vaisseaux non paralysés ; et ses expériences donnent les tableaux suivants :

Lapin n° 1, après section d'un sympathique au cou :

	Oreille normale	Oreille sympathisée
Le lendemain	5.370.000	5.050.000
Le surlendemain	5.820.000	5.320.000

Lapin n° 2, après section d'un sympathique au cou :

	Oreille normale	Oreille sympathisée
Quelques minutes après l'opération	5.820.000	5.820.000
Le lendemain	5.820.000	5.150.000
Le 4e jour	4.810.000	4.620.000
Le 34e jour.	4.200.000	3.860.000

La diminution du nombre des globules est donc très sensible du côté où le sympathique a été sectionné. Et l'on a eu dans ces deux cas un phénomène de polyglobulie sans néoformation d'hématies. A leur tour, toutes les causes agissant sur le sympathique devront déterminer une modification du même genre. Parmi les causes de polyglobulie par excitation du sympathique, on peut en retrouver de physiques comme le froid, les injections sous-cutanées de sérum artificiel signalées par Chéron dans une communication à l'Académie des Sciences, mais on rencontre aussi des causes morales, la peur, par exemple, qui fait pâlir le visage. Dans ce groupe de polyglobulies par excitation du sympathique, figurent encore certaines augmentations de globules dans plusieurs états pathologiques. On trouve au premier rang parmi elles la maladie de Raynaud, asphyxie symétrique des extrémités, rapportée par cet auteur à une névrose du sympathique. Il en est de même pour différents cas de myxœdème.

Nous nous trouvons ainsi en présence d'un facteur de polyglobulie, le froid, agissant par excitation du sympathique, et que l'on rencontre aux grandes altitudes dans les ascensions en ballon. Il déterminerait la contraction des vaisseaux périphériques, et augmenterait ainsi le taux des globules rouges dans chaque goutte

du sang. Faut-il donc expliquer par la vaso-constriction cette hyperglobulie des aéronautes ? A cette question de la polyglobulie, Quiserne va répondre par la néoformation.

Il ramène encore au groupe des polyglobulies relatives celles qui tiennent à des causes purement physiques : le climat, la latitude. On a remarqué que, sous les tropiques, le sang présentait souvent un chiffre d'hématies supérieur à celui que l'on constate dans les régions tempérées. Alors même que l'individu est atteint d'anémie, affection fréquente dans les pays chauds, ses globules sont en nombre au moins égal à celui des hommes sains vivant dans des contrées plus froides. Marestang a reconnu cette polyglobulie après examen du sang de vingt soldats embarqués pendant trois mois et demi et séjournant depuis deux mois sous les tropiques. Chez quatorze d'entre eux l'augmentation des globules était de 500.000. Chez les 6 derniers, elle atteignait un million. Il en était de même du taux de l'hémoglobine. A Nouméa, des forçats arrivés plusieurs années auparavant avaient une moyenne de 5.770.000 globules. Marestang expliquait ces faits par la nécessité de compenser la tension moins forte de l'oxygène. Quiserne commente à son tour cette polyglobulie qui semble contradictoire, quand on la compare à celle que détermine le froid influant sur le sympathique. Elle est liée uniquement à la concentration du sang, et doit être rapprochée de « toutes les causes susceptibles d'exagérer une sécrétion normale, ou de créer une sécrétion anormale ». La chaleur, le soleil agissent donc par l'extrême évaporation cutanée, et l'on peut les rapprocher de la fatigue, des efforts, des courses prolongées. La concentration du sang se retrouve également dans la lactation et la menstruation, à la suite d'une diarrhée abondante ou d'une forte diurèse, dans les œdèmes, et enfin, chez les nouveau-nés, après l'apparition de l'évaporation cutanée et de la respiration.

Les polyglobulies relatives résultent, en conséquence, soit d'un phénomène de vaso-constriction, soit d'une concentration du sang. Ces deux facteurs permettent-ils d'expliquer la polyglobulie des altitudes, dans les ascensions de montagnes ou dans les voyages en ballon? Quiserne ne le pense pas, et il défend à son tour le principe de la néoformation. Il se range à l'avis de Jourdanet, de Paul Bert et de Viault qui rapportaient le mal des montagnes à la variation de pression atmosphérique, et pour lesquels l'acclimatement représentait seulement cette faculté pour le sang de transporter plus d'oxygène grâce à la multiplication des globules. Quiserne rappelle le tableau de Kœppe dans lequel l'hyperglobulie semble proportionnelle à l'altitude. Le mal des montagnes et le mal en ballon sont dus « à la gêne apportée par la variation de pression à la fonction respiratoire du sang et persistent tant que la réaction organique n'a pas rétabli l'équilibre nécessaire à la vie par l'augmentation du nombre des hématies. Les différences constatées dans leur moment d'apparition et leur violence ne tiennent qu'à des facteurs individuels... Dans l'ascension en ballon où le travail musculaire et la fatigue sont au minimum, ce n'est qu'à 7.000 mètres que les aéronautes disent en avoir eu à souffrir..... La polyglobulie des altitudes est due à une cause physiologique. Elle cesse avec elle, elle ne donne lieu à des phénomènes morbides que si la cause productrice agit avec une telle force qu'elle ne donne pas à l'organisme le temps de réagir. Enfin, cette polyglobulie des altitudes n'empêche pas non plus les causes physiologiques qui influent sur la composition du sang de s'exercer sur l'individu indépendamment de son action propre. »

En somme, la polyglobulie vraie des altitudes peut être rapprochée des polyglobulies vraies par obstacle mécanique à l'arrivée de l'air dans les poumons. La compression de la trachée

étudiée expérimentalement par Vaquez, Sellier, le pneumo-thorax partiel provoqué par Auscher et Lapicque donnent lieu à une cyanose que combat la polyglobulie. Quand l'obstacle à l'hématose est supprimé, le sang revient à la normale.

Il y a également un lien entre la polyglobulie des altitudes et celle de la cyanose congénitale. Vaquez a constaté chez un malade atteint de cyanose, et pour lequel la numération des globules avait donné le chiffre très élevé de 8.900.000 hématies, des vertiges analogues au vertige de Menière, des hémorragies gingivales, accidents fréquents dans le mal des montagnes. La concentration du plasma ne donnait pas, expérimentalement, les mêmes symptômes. Il y avait donc là une véritable hyperglobulie qui croissait, comme celle des aéronautes, avec l'altitude.

Existe-il, en faveur de la néoformation, des modifications histologiques du sang prélevé à de grandes altitudes ? Quiserne rappelle le nombre anormal de microcytes reconnu dans le sang des habitants d'Arosa par Mercier qui trouve chez sa fille jusqu'à 200 microcytes sur 800 globules, maximum obtenu seulement au bout de 9 journées de séjour. Egger conclut de même.Ces microcytes persistent jusqu'à l'acclimatement, et, pendant ce temps, il n'y a pas hyperglobulie véritable, puisque le diamètre des hématies est diminué, mais polyglobulie. On ne peut affirmer la présence d'hématies nucléées que signalent Schaumann et Rosenqvuist dans le sang recueilli au laboratoire, Gaule sur des prises en ballon, puisque Jolly n'a pu en retrouver une seule. Mais Quiserne croit pouvoir dire, en ce qui concerne l'hémoglobine,« que la polyglobulie des altitudes, causée par la diminution de tension de l'oxygène dans l'air, doit forcément s'accompagner d'une augmentation de l'hémoglobine proportionnelle à celle du nombre des globules rouges nécessaires à rétablir l'équilibre détruit par les variations de la pression atmosphérique. En effet, il y a

une augmentation réelle de l'hémoglobine dans cette polyglobulie, mais cette augmentation est beaucoup plus lente à se produire que l'augmentation globulaire. »

Tous ces faits déterminent Quiserne à admettre la néoformation, Sans doute, il reconnaît que « la concentration joue un rôle dans la production des phénomènes, d'adaptation. Au cours d'ascensions en ballon, Jolly et Bensaude ont en effet constaté dans ces cas, où les causes amenant la contraction agissent au minimum, des polyglobulies bien inférieures à celles notées pour une même élévation au-dessus du niveau de la mer pendant une ascension faite à pied. Or la fatigue, l'exagération des sécrétions produites par le travail musculaire sont justement parmi les faits invoqués comme amenant le plus souvent la concentration. Il y avait donc réellement un phénomène mixte d'adaptation, dû à la concentration et à la néoformation. »

C'est par l'expérimentation que l'auteur veut démontrer le mécanisme de la néoformation. Déjà Sellier avait indiqué la relation entre la diminution de l'oxygène et la polyglobulie. Quelque temps après, Regnard note, chez cinq tourterelles auxquelles il fait respirer de l'oxygène pur pendant une semaine, tout en conservant un degré hygrométrique constant, une diminution de 470.000 hématies en moyenne. La polyglobulie est donc en rapport avec le taux d'oxygène de l'air. Palleri et Mergari augmentent de leur côté la proportion d'acide carbonique et trouvent de l'hyperglobulie. Quiserne, à son tour, cherche à déterminer le rôle des organes hématopoiétiques. Il compte les globules de quatre lapins de poids égal et nourris d'une façon semblable, puis il procède à la splénectomie de deux d'entre eux :

	18 mars		4 mai	
Lapin 1.	4.380.000	globules rouges	4.150.000	(après splénectomie).
Lapin 2.	4.600.000	—	4.700.000	(après splénectomie).
Lapin 3.	4.486.000	—	4.520.000	(sain).
Lapin 4.	4.524.000	—	4.600.000	(sain).

Les lapins sont ensuite envoyés à Briançon (1.500 mètres). L'acclimatement est facile pour les deux lapins sains, plus lent pour les lapins privés de rate. Au bout de dix jours, une nouvelle numération est faite :

Lapin 1 (dératé).

Sang de l'oreille :

Nombre des globules rouges	5.850.000
Hémoglobine	100

Sang de l'artère fémorale :

Nombre des globules rouges	5.400.000
Diamètre globulaire moyen	6 μ 74

Lapin 2 (dératé, acclimatement difficile).

Sang de l'oreille :

Nombre des globules rouges	5.620.000
Hémoglobine	90

Sang de l'artère fémorale :

Nombre de globules rouges	5.360.000
Diamètre globulaire moyen	7 μ 16

Lapin 3 (sain).

Sang de l'oreille :

Nombre des globules rouges	6.514.000
Hémoglobine	101

Sang de l'artère fémorale :

Nombre des globules rouges	6.160.000
Diamètre globulaire moyen	6 μ 35

Lapin 4 (sain).

Sang de l'oreille :

Nombre des globules rouges	6.940.000
Hémoglobine	110

Sang de l'artère fémorale :

Nombre des globules rouges	6.055.000
Diamètre globulaire moyen	6 μ 32

« Des résultats de ces examens il apparaît clairement qu'un séjour de neuf jours à l'altitude de 1.500 mètres a produit chez les animaux sains et chez les animaux privés de rate une polyglobulie évidente. Mais, si nous comparons les chiffres des globules des animaux sains et ceux des animaux privés de leur rate, nous voyons que l'augmentation globulaire a été beaucoup plus faible chez ces derniers. Tandis que l'augmentation a été de 2.000.000 globules chez les animaux sains, elle n'a été que de 1.600.000 globules chez les animaux splénectomisés, dans des conditions identiques de séjour et de régime.

« Les renseignements fournis par l'examen des diamètres globulaires nous ont permis de constater des différences encore plus appréciables. Tandis que chez les lapins sains les diamètres moyens étaient de 6μ32 et de 6μ35, chez les lapins n'ayant plus de rate, ils étaient de 6μ 74 et 7μ16. Le sang des deux animaux privés d'un organe hématopoiétique, présentait des modifications de nombre et de diamètre des globules. Il était donc évident que la rate, en tant qu'organe hématopoiétique, jouait un rôle important dans l'acclimatement et l'adaptation à l'altitude, puisque le sang des animaux qui en étaient privés, non seulement était moins riche en globules rouges, mais encore présentait des modifications morphologiques appréciables.

« L'augmentation de diamètre notée était relativement considérable, d'autant plus que normalement la polyglobulie des altitudes ne s'accompagne généralement pas d'un accroissement du diamètre globulaire, cette augmentation ne pouvant être que le résultat d'un trouble apporté à la réaction fonctionnelle du sang.

« Privé d'un organe hématopoiétique important, l'organisme n'avait pu produire une quantité de globules suffisante dans le même espace de temps et ces globules avaient augmenté de vo-

lume par un phénomène de compensation analogue à celui noté par Vaquez au cours de la polyglobulie accompagnant la cyanose congénitale. »

Pour conclure, Quiserne déclare que la polyglobulie due à la modification de la pression atmosphérique n'est pas relative, c'est-à-dire causée par la simple diminution de la quantité du plasma sous l'influence d'une sécrétion exagérée ou d'un phénomène vasomoteur ; les polyglobulies relatives sont toujours de moyenne intensité, se produisent et disparaissent brusquement, sans modification de la forme, du volume et de la composition chimique du sang. L'altitude détermine au contraire une polyglobulie vraie, plus marquée, progressive, pouvant causer, si elle se fait trop lentement, des accidents de mal des montagnes ou de mal en ballon. Elle est accompagnée d'une légère diminution dans le diamètre des hématies, et d'une augmentation du taux de l'hémoglobine. C'est une réaction fonctionnelle de l'organisme qui cherche à s'adapter au milieu nouveau grâce à la néoformation globulaire.

Nous terminons, avec ce travail, l'étude des premières expériences effectuées en ballon et contrôlées par les examens de sang au laboratoire ou dans les stations d'altitude. La question de l'hyperglobulie est loin d'être tranchée à cette époque. Si les observations de Gaule, si la thèse de Quiserne font croire à l'hypothèse de la néoformation, les conclusions de Bensaude, Jolly, Victor Henri et Calugareanu en France, d'Abderhalden, Schr tter et Zuntz à l'étranger sont moins favorables à cette idée. Ces auteurs déclarent, après leurs premières ascensions, que de nouveaux examens semblent indispensables si l'on veut connaître et expliquer la constance et la valeur de cette hyperglobulie.

3° Les phénomènes périphériques et l'hyperglobulie relative.

La grande confusion qui régnait avant les ascensions en ballon ne s'était pas entièrement dissipée à la suite des premiers voyages. Mais il avait été possible d'entrevoir le rôle de certains facteurs, le froid, la sécheresse, l'humidité, sur la concentration du sang et l'accumulation des globules. Peut-être se trouvait-on en présence de deux phénomènes successifs, une polyglobulie relative du début, à laquelle faisait suite une polyglobulie par néoformation. Il fallait, pour éclairer cette question, renouveler les expériences. C'est ce que se proposent, en 1902, Armand-Delille et André Mayer, qui, frappés de cette incertitude, utilisent un séjour dans les Alpes pour étudier la teneur du sang en hématies.

A côté de la pression atmosphérique, les causes influant sur la vasomotricité doivent modifier la richesse en globules. Dominici, Hallion, Lapicque et André Mayer ont déjà indiqué le rôle du froid, qui peut même pour Dominici, déterminer l'apparition d'hématies nucléées. La fatigue, le régime alimentaire sont des facteurs négligés jusque-là. Désormais les études sur l'hyperglobulie des ascensions devront tenir compte de ces données nouvelles.

Armand-Delille et André Mayer ont recours aux numérations et à l'examen histologique des préparations de sang sec. Pour comparer les prises de sang périphérique et central, ils s'adressent à des animaux, ce qui leur permettra de mettre en regard les chiffres obtenus dans les deux régions vasculaires. Pour ne pas être forcés de sacrifier l'animal, ils ponctionnent le sang du

cœur, au travers de la paroi thoracique, avec la seringue de Pravaz. Les lapins, les cobayes supportent très bien cette piqûre que nous avons répétée nous-même. Enfin, l'examen des organes hématopoiétiques terminera cette série de recherches.

Les auteurs prennent sur dix cobayes le sang périphérique recueilli par piqûre d'une veine de l'oreille et le sang central aspiré dans le cœur. Ce sang est ensuite dilué avec du liquide de Hayem dans un mélangeur Potain, puis placé dans de petites pipettes scellées à la lampe.

« Les cobayes que nous avons examinés étaient adultes, pesaient en moyenne 350 grammes. Ils avaient vécu jusque-là à l'altitude de 375 mètres (Genève). Le 24 juillet, on a fait pour tous l'examen du sang périphérique. Le 29, deux des cobayes ont été laissés à Randa comme témoins. Les 8 autres ont été transportés à la cabane du Festi (2.936 mètres) en 4 heures. Après cette dénivellation de 1.500 mètres, on a recueilli le sang d'un des cobayes. Ce sang examiné (en même temps que tous les autres), le 31 juillet, dans l'appareil Malassez, a donné les chiffres suivants :

Cobaye C :

à Randa, le 28.	Sang périphérique	4.840.000	Sang central	4.500.000
au Festi, le 28.	—	5.290.000	—	4.400.000

« Ce cobaye, ainsi qu'un autre, a été laissé comme témoin à la cabane du Festi. Les 6 autres ont été transportés, le 30, au sommet du Don der Mischabelhœrner (4.554 mètres), en 10 heures. Malheureusement, le froid y était tel que deux des cobayes, sortis du sac capitonné qui les contenait, succombèrent immédiatement. Le sang recueilli dans le cœur d'un troisième se congela dans la seringue de Pravaz, et, enfin, le sérum de Hayem fut trouvé congelé dans le flacon qui le contenait. Force nous fut donc de redescen-

dre. Nous pûmes nous arrêter dans les rochers du col du Hohberg, près du point coté 3.900 mètres, et faire des prises de sang à deux cobayes (13 heures après le départ du Festi). Voici les chiffres trouvés :

1° A Randa, le 28.	Sang périphérique	4.690.000.		
Au col, le 29.	—	4.970.000.	Sang central	4.090.000
2° A Randa, le 28.	—	4.720.000.		
Au col, le 29.	—	4.730.000.	Sang central	4.777.000

« De retour à la cabane du Festi, 16 heures après le départ, nous avons fait des prises de sang aux deux cobayes demeurés témoins.

C au Festi, le 29.	Sang périphérique	5.200.000	
D à Randa, le 28.	Sang central.	4.850 000	
Au Festi, le 29.	—	4.950.000	

« Enfin voici la numération des cobayes demeurés témoins à Randa.

A le 28.	Sang périphérique	4.850.000.	Sang central	4.210.000
le 30.	—	4.800.000.	—	4.300.000
B le 28.	—	6.000.000.	—	
le 30.	—	6.140.000.	—	5.260.000

« Les expériences précédentes ayant été faites après des ascensions de longue durée et à des températures très basses, nous les avons renouvelées dans les conditions suivantes : nos cobayes ont été montés par chemin de fer de Zermatt (Valais), 1.620 mètres, au Gornergrat, 3.136 mètres, en une heure et demie, et examinés dans une chambre chauffée, à l'hôtel du sommet. »

1er cobaye :

Zermatt.	Sang périphérique.	4.520.000.		
Gornergrat.	—	4.610.000.	Sang central.	4.410.000.

2e cobaye :

Zermatt.	Sang central.	4.760.000.		
Gornergrat.	—	4.770.000.		

3e cobaye :

Zermatt.	Sang périphérique.	5.170.000.		
Gornergrat.	—	4.900.000.	Sang central.	4.940.000.

4e cobaye :

Zermatt.	Sang périphérique.	3.470.000.		
Gornergrat.	—	4.130.000.	Sang central.	3.510.000.

Cinq des cobayes ramenés à Paris le 2 août, ont été examinés le 18 octobre :

A.	Sang périphérique.	4.140.000.	Sang central.	3.970.000
B.	—	4.870.000.	—	4.460.000
1er	—	4.330.000.	—	4.430.000
2e	—	4.060.000.	—	3.820.000
4e	—	4.060.000.	—	4.040.000

De ces nombreuses expériences, il semble ressortir que cette hyperglobulie est moins régulière qu'on ne l'avait dit jusque-là : elle n'est pas proportionnelle à l'altitude, elle peut même faire complètement défaut. De plus, l'écart entre les chiffres trouvés aux grandes altitudes pour le sang périphérique et le sang central est parfois considérable : le sang de la circulation centrale ne paraît pas avoir subi de modifications, même par un grand froid comme celui du Festi ; enfin, cet écart entre le chiffre des globules dans les circulations centrale et périphérique est bien plus fort en montagne qu'à Paris. Le dernier tableau donne en effet, à Paris, des chiffres presque égaux dans les deux circulations.

Ces expériences très curieuses au point de vue de l'hyperglobulie des altitudes présentent un intérêt tout particulier dans la question de la physiologie en ballon. On s'est adressé en effet à des animaux que l'on portait, et dont le sang a été prélevé dès l'arrivée au sommet. Leurs efforts ont été très restreints, limités à quelques secousses, surtout pendant le voyage en funiculaire de Zermatt au Gornergrat. Il y a là un moyen terme entre l'as-

cension en ballon, douce et sans fatigue, et l'escalade d'une montagne qui nécessite une grande dépense d'énergie musculaire.

A la suite de cette première série de recherches, Armand-Delille et André Mayer établissent, en 1903, un nouveau programme. Les expériences précédentes leur ont donné les chiffres des arrivées aux sommets. Il s'agit maintenant d'étudier les conditions du séjour à de grandes altitudes. L'étude, au microscope, de préparations de sang sec, va indiquer si l'on se trouve en présence d'une néoformation manifestée par la présence d'hématies nucléées, de poikilocytes, d'éléments polichromatophiles, ces mêmes variétés globulaires que Gaule avait observées dans deux ascensions en ballon. Enfin, des préparations d'organes hématopoiétiques feront vérifier les résultats obtenus avec le sang.

Les expérimentateurs transportent, en 24 heures, 6 lapins de même âge, de Paris au Lantaret (2.070 mètres). Les animaux y restent 7 semaines pendant lesquelles ils peuvent circuler sous un abri couvert. La nourriture est la même pour tous, le poids reste égal. De ces lapins, un est renvoyé à Paris après une journée ; deux autres sont sacrifiés au 15e et au 51e jour.

« I. — En examinant les chiffres rapportés dans le tableau et, en particulier, ceux des numérations du sang du cœur, on voit, écrivent les auteurs, qu'après 15 jours, un des animaux (A) présentait à peu près le même nombre de globules ; 3 présentaient une hyperglobulie sensible, un seul présentait de l'hypoglobulie. Malheureusement cet animal est mort et n'a pu être autopsié. Après 51 jours, des trois animaux qui restaient en expérience, un seul avait de l'hyperglobulie : c'est lui que nous avons sacrifié ; les autres ne montraient pas de modification sensible ; enfin, de retour à Paris, nous n'avons noté aucune diminution : il y a même augmentation pour l'animal B. L'animal F, qui n'a passé que 24 heures au Lantaret, n'a pas sensiblement varié.

LAPINS	DÉPART T. + 16° à + 22° Pression bar. 755-722 mm	15e JOUR T. : 23° — 18° Pression bar. 585 mm	51e JOUR T. : 14° — 17° Pression bar. 583-586 mm	RETOUR T. + 5° + 5° Pression bar. 765-767 mm
A-P (sang de la périphérie).	6.150.000	5.730.000	5.790.000	6.360.000
C (sang du cœur)	5.590 000	5.820 000	5.660.000	5.625.000
B-P	5.520.000	4.620.000	5.490.000	6.900.000
C	5.329 000	4.680 000	5.670 000	6.030 000
C-P	6.080.000	4.800.000	Sacrifié	
C	5.950.000	4.950.000	—	
D-P	5 200.000	5.880 000	Mort	
C	4 710.000	5.820.000	—	
E-P	6.390.000	4.830 000	7.200.000	Sacrifié.
C	5.130.000	4.590.090	6.120.000	
		1er jour.		Retour à Paris le 2e jour.
F-P	5.460.000	6.180.000		5.750.000
C	5.040.000	4.170.000		4.800.000

« II. — Toutes les fois que nous avons pratiqué des numérations de globules, nous avons fait en même temps des préparations de sang sec (étal sur lame à l'aide de la lame rodée). L'examen de ces préparations ne permet de constater sur aucune d'elles la présence de microcytes, de poikilocytes et de globulins. Il n'existe pas non plus d'hématies nucléées en quantité appréciable, et l'on sait que la moindre saignée provoque l'apparition dans le sang circulant d'un nombre assez considérable de ces éléments. Enfin nous n'avons pu déceler la présence d'éléments polychromatophiles.

« III. — L'examen histologique des organes hématopoiétiques a été fait sur des pièces préparées suivant la technique de Dominici (pièces fixées au biiodure de Hg naissant et formol, inclusions à la paraffine Damaige à 48°. Colorations par l'hématéine-éosine et par l'éosine orange-bleu de toluidine).

« L'examen des pièces de l'animal sacrifié après 15 jours, c'est-à-dire au moment où il aurait dû être en pleine néoformation sanguine, n'a montré dans aucun organe aucun indice de réaction normoblastique ; il existait un léger état irritatif, se traduisant dans la moelle par de nombreux myélocytes à protoplasma basophile, et, dans le ganglion, par des cellules de Flemming assez nombreuses.

« Chez l'animal E, sacrifié après sept semaines et paraissant présenter de l'hyperglobulie, on note dans la rate une très légère réaction normoblastique, caractérisée par la présence d'hématies nucléées et de noyaux libres un peu plus nombreux que de coutume ; dans la moelle, on peut noter une légère poussée de polynucléaires ; dans le ganglion, le même état légèrement irritatif se traduit par la présence de mononucléaires à protoplasma basophile plus nombreux qu'à l'état normal. D'après Dominici, cet aspect des coupes se rencontre assez fréquemment chez le lapin, et dénote un léger état infectieux de cause banale. Il ne correspond en rien à la véritable néoformation sanguine. »

Ces nouvelles expériences indiquent donc l'absence assez fréquente de la polyglobulie, signalée jusque-là comme constante et souvent considérable dans les hautes altitudes. Nulle part, Armand-Delille et André Mayer n'ont vu de modification appréciable, même après un séjour de sept semaines. Le seul animal ayant de l'hyperglobulie présentait des symptômes d'infection légère qui expliquaient ce phénomène.

D'autre part, si, dans les premières expériences, les cobayes présentaient à leur arrivée à de grandes altitudes, des augmentations du nombre des hématies, ces augmentations mêmes étaient inégales suivant les cas. Enfin elles ne correspondaient pas à des polyglobulies des vaisseaux centraux. Quant aux préparations de sang sec effectuées dans la seconde série de recherches, à diver-

ses périodes du séjour, elles ne contenaient en aucun cas d'hématies nucléées nécessaires pour affirmer la néoformation.

Il paraît donc résulter de ces travaux que la pression barométrique n'est pas le principal facteur de l'hyperglobulie. Armand-Delille et André Mayer ajoutent que la notion même de cette hyperglobulie ne leur paraît rien moins qu'assurée. Il leur semble que « l'invoquer uniquement pour expliquer le mécanisme de l'acclimatement à l'air des hauts lieux, c'est s'exposer peut-être à ne point se trouver d'accord avec les faits ».

Nous voici bien loin des premières théories de l'hyperglobulie des ascensions. Déjà à cette époque, certains auteurs avaient remarqué le côté un peu factice des statistiques anciennes. Cependant Quiserne croyait, en 1902, à la polyglobulie des altitudes, par néoformation. Voici qu'Armand-Delille et André Mayer mettent en doute le rôle de la pression, qui servait de base à l'hypothèse de Paul Bert, et, de son côté, Foa conclut que cette hyperglobulie est due à une stase du sang dans les vaisseaux périphériques dilatés. Les travaux suivants vont nous expliquer l'action d'autres facteurs.

Dans la même année 1903, Lapicque et André Mayer présentent à la Société de Biologie, une note relative à l'hyperglobulie périphérique sous l'influence du froid. Les auteurs indiquent que les résultats des expériences précédentes, effectuées par Armand-Delille et André Mayer, et si peu concluantes en ce qui concerne l'action de la dépression barométrique, s'interprètent beaucoup mieux si l'on rapporte au froid les phénomènes observés. Pour vérifier cette hypothèse, Lapicque et André Mayer étudient au laboratoire, pendant une journée très froide, la richesse globulaire dans le sang périphérique d'un animal qu'ils mettent ensuite au grand air pour contrôler l'apparition de l'hyperglobulie.

L'animal choisi est un cobaye : le sang est recueilli sur une

veine de l'oreille et sa richesse globulaire est recherchée à la fois par la numération et par l'hématocrite (méthode de Hédin-Gaertner).

4 prises de sang sont faites :

	Nombre de globules rouges	Volume à l'hématocrite
I. Au laboratoire, T. = 18°	3.680.000	
Après 30 minutes d'exposition au dehors, T. = 6°	4.100.000	
Au laboratoire, de nouveau	3.460.000	
II. Au laboratoire — T. = 16° à 18° .	3.850.000	55
Après 1 h. 1/2 d'exposition au dehors T. = 2°	4.228.000	58
III. Au laboratoire — T. = 16° à 18°	4.600.000	58
Après 1 h. 1/2 d'exposition au dehors, T. = 2°.	4.920.000	62
IV. Au laboratoire — T. = 14° à 15°	3.660.000	52
Après 4 minutes d'exposition au dehors, T. = 0°	3.540.000	52

Dans les trois premières expériences où l'écart entre la température extérieure et celle du laboratoire est très grand, et où l'animal est resté longtemps dehors, il y a hyperglobulie périphérique surtout marquée dans la première expérience où la différence entre les températures atteignait 24 degrés. On constate alors une augmentation de plus de 400.000 globules par millimètre cube. Dans la dernière expérience, le froid est moins vif au dehors et le cobaye n'y reste que 4 minutes. Aussi l'hyperglobulie fait-elle défaut.

Le froid suffit donc à produire l'hyperglobulie périphérique. Or les aéronautes subissent l'action du froid qui peut devenir très vif aux grandes hauteurs. Peut-on donc invoquer ce froid comme la véritable cause de l'hyperglobulie dans les ascensions en ballon ? La note précédente donne une indication intéressante sur ce sujet.

Un peu plus tard, Jaquet divise à son tour en deux périodes la réaction de l'organisme dans les grandes altitudes. Il y a une hyperglobulie initiale qui est relative, simple concentration du sang à la périphérie. Ce serait là le phénomène constaté en ballon, et qui serait en contradiction avec ce qu'on sait de la capacité de saturation de l'hémoglobine sous pression partielle d'oxygène. Les travaux de Hüfner ont montré que cette capacité de saturation pouvait demeurer fixe tandis que la pression partielle de l'oxygène s'abaissait de 100 millimètres de Hg. Cependant l'organisme, avec des tensions d'oxygène beaucoup plus fortes, réagit en formant une certaine quantité de sang.

C'est à ce moment que de nouvelles ascensions en ballon sont organisées. Les dernières recherches ont modifié considérablement la théorie de la polyglobulie. Lapicque et André Mayer viennent de démontrer l'action du froid. Il importe de savoir si la polyglobulie des aéronautes n'est pas seulement produite par la vaso-contraction. Les communications suivantes vont renforcer singulièrement cette dernière hypothèse.

A bord du ballon *le Centaure*, piloté par M. Castillon de Saint-Victor, le 16 juillet 1904, Victor Henri et Jolly examinent d'abord le sang d'un lapin dont le sympathique cervical a été sectionné unilatéralement. Le sang veineux est recueilli sur chaque oreille, à terre et à 2.500 mètres, au bout d'une heure 20 minutes de voyage. Il est prélevé également du sang carotidien. Enfin, des prises de sang veineux périphérique et artériel central sont faites sur un pigeon, à terre et à 2.500 mètres. La technique est celle que nous avons consignée à propos de la première ascension de Jolly : le sang est aspiré et mélangé avec du sérum de Marcano dans un mélangeur Potain, puis versé dans un petit tube que ferme un bouchon de caoutchouc. Les numéra-

tions sont faites le lendemain de l'ascension avec le compte-globules de Malassez :

	Sang de l'oreille normale (hématies)	Sang de l'oreille du côté de la section du sympathique	Sang de la carotide
Lapin. A terre.	5.490.000	5.270.000	»
A 2.500 mètres . .	5.165.000	5.860.000	4.195.000

	Sang veineux périphérique	Sang artériel central
Pigeon. A terre.	3.315.000	»
A 2.500 mètres. . .	3.240.000	2.495.000

Ces chiffres montrent que, chez aucun de ces deux animaux, il ne s'est produit d'hyperglobulie du côté sain. En outre, chez le lapin, le sang veineux diffère sur les deux oreilles puisque, d'un côté, le sympathique a été coupé. Ce fait est conforme à la théorie de Malassez. Enfin le sang artériel profond contient moins de globules que le sang périphérique.

Il est singulier qu'à 2.500 mètres, le sang de l'oreille du côté de la section du sympathique contienne plus de globules du côté de la section du sympathique que du côté sain.

Victor Henri et Jolly pensent donc que la polyglobulie en ballon, quand elle existe, doit tenir uniquement à des répartitions inégales des globules dans le sang périphérique et central « par des actions vaso-motrices, plutôt que par des néoformations et des afflux de globules des organes hématopoiétiques ».

Cette opinion est encore renforcée par la constatation du manque absolu d'hématies nucléées chez le lapin.

Dans un second ballon, André Mayer, conduit par M. Léon Barthou, se propose également de numérer les globules sur des lapins ayant un sympathique coupé. Le 5 juillet, à 6 heures du soir, il sectionne au cou le sympathique gauche de deux lapins mâles adultes. L'opération aseptique produit les phénomènes vasomoteurs habituels. Le lendemain, une double prise de sang

est faite, sur les deux oreilles, à terre et en ballon. Le sang aspiré dans un mélangeur Potain est mêlé à du sérum de Hayem et déposé dans de petits tubes bouchés à l'émeri.

	Oreille saine	Oreille à sympathique sectionné
Lapin 1.		
Parc de l'Aéro-Club, 10 h. 45	5.310.000	6.270.000
3.400 mètres, 1 heure (T. = 12°) . .	4.680.000	6.450.000
Lapin 2.		
Parc de l'Aéro-Club, 10 h. 30 (T. = 21°).	4.350.000	accident
3.450 mètres, 1 h. 5	4.380.000	
3.500 mètres, 1 h. 10		5.370.000
Sorbonne (7 juillet), T. = 27°	5.160.000	4.950.000

Enfin, Lapicque retrouve deux fois dans la même ascension une diminution de l'hémoglobine du sang central sous l'influence de l'altitude. Cette diminution contrebalance l'augmentation des globules dans le sang périphérique. Il admet enfin la vaso-dilatation céphalique comme phénomène normal dans les ascensions.

Résumant les expériences qui viennent d'être faites, Lapicque ajoute qu'il avait cru, en 1901, à la réalité de l'augmentation du nombre des globules et qu'il avait considéré certain chiffre contradictoire comme dû à une erreur, bien que l'écart fût au-dessus de l'incertitude du procédé. Mais depuis les mêmes résultats ont été obtenus, et Lapicque considère qu'ils correspondent à un fait réel. Si enfin, dans ces nouvelles ascensions, la section du sympathique n'a pas modifié le phénomène vasomoteur, c'est que ce phénomène lui-même a fait presque entièrement défaut. « Ceci prouve, ajoute-t-il, que le facteur altitude n'est pas par lui-même la cause du phénomène, qu'il faut considérer un facteur adventice comme la température par exemple. Nous avons du moins constaté, une fois de plus, en ballon comme à terre, que le facteur le plus important est l'état des vaisseaux. »

Ces conclusions sont également celles de Jolly qui publie en 1905, dans l'*Aérophile*, un rapport sur l'ascension scientifique du 7 juin 1905. Il s'est proposé de déterminer l'augmentation des globules rouges :

		Sang de l'oreille	Sang central
9 h. 30, à terre, 15°	lapin A.	4.660.000	
	lapin B.	4.510.000	
11 h. 30, 2.500 à 2.800 m., — 1° à 4°	lapin A.	5.310.000	
	lapin B.	5.370.000	
12 h., 3.000 à 3.500 m., — 4° à 2°	lapin A.	4.500.000	3.695.000
12 h. 30, 2.800 à 2.000 m., — 1° . .	lapin A.	4.390.000	4.080.000

Ce tableau montre que, chez le lapin, il y a, au début, une augmentation brusque qui ne dure pas, et qui n'existe pas dans le sang profond demeuré normal. Cette nouvelle expérience prouve, comme les précédentes, que l'hyperglobulie n'est que relative, et liée à des phénomènes vasomoteurs. La température doit jouer un rôle important.

Les études relatives à l'hyperglobulie des altitudes se complètent par les travaux de Guillemard et Moog qui observent, au Mont-Blanc, les variations du sang chez des animaux, rats, cobayes et lapins. Dans tous les cas, il y a, dès le deuxième jour, hyperglobulie périphérique ; l'hypoglobulie centrale existe à son tour, dans tous les cas, un seul excepté. En dehors de celui-ci on ne peut conclure, nulle part ailleurs, à une hyperglobulie totale.

Dans la suite, le taux de l'hémoglobine diminue, ce qui pourrait indiquer la présence de jeunes hématies, les microcytes ne fixant que peu à peu cette hémoglobine. Ce serait un argument en faveur de l'hyperglobulie réelle de la deuxième période.

Enfin, le seul animal ayant présenté, dès l'arrivée, de l'hyperglobulie centrale et périphérique, est un rat précisément splénectomisé, ce qui semble indiquer que la rate n'a pas un rôle impor-

tant dans l'hématopoièse. En outre, on a observé que les rats splénectomisés mouraient plus vite que les autres.

L'hyperglobulie des hautes altitudes est donc un phénomène très complexe. Ce phénomène varie avec le temps. Au début, il y a hyperglobulie périphérique, hypoglobulie centrale. Les difficultés tiennent à ce fait que les variations portent sur quatre éléments différents : nombre des hématies, taux de l'hémoglobine, valeur globulaire des hématies, masse du sang ; elles sont à la fois sous la dépendance de l'altitude et du temps.

Nous arrivons ainsi à cette conclusion que l'hyperglobulie des altitudes, tout au moins celle du début, semble être localisée uniquement dans les vaisseaux veineux périphériques et tient à des phénomènes de vasoconstriction. Il est possible qu'après un long séjour aux altitudes, on constate une modification du taux globulaire. Mais, pour les ascensions en ballon, l'hyperglobulie ne paraît être que relative et liée moins à la dépression barométrique pure, qu'à l'association de celle-ci avec les autres facteurs physiques susceptibles de déterminer la vaso-constriction.

4° Expériences personnelles sur l'hypergl obulie en ballon.

En présence de la diversité des facteurs physiques invoqués pour expliquer les phénomènes de vasoconstriction périphérique dans les ascensions en ballon, nous avons résolu d'entreprendre de nouvelles expériences. Au moment d'en établir le plan, nous nous sommes adressé à André Mayer qui a bien voulu nous proposer le programme suivant :

« 1° Je crois que nous possédons maintenant assez de faits montrant que l'hyperglobulie, quand elle se produit, est un phénomène périphérique. En outre de nos expériences en montagne, celles qu'on a faites depuis en ballon, puis les faits de Foa et Ag-

gazzotti (Mont Rose), ceux de Guillemard et Moog (Mont Blanc) ont donné un nombre de chiffres bien suffisant. Donc, inutile de refaire des examens comparés de sang périphérique et de sang du cœur.

« 2° Je ne crois pas non plus qu'il soit utile de reprendre la question par le côté histologique ; nous n'avons trouvé, même après des semaines, aucun signe de néoformation dans les organes hématopoiétiques. Toutefois, comme le nombre des expériences sur ce point n'est pas très grand, on pourrait, surtout à une très grande altitude, faire quelques lames, chercher les hématies nucléées, et briser un os, faire des décalques de moelle. Eviter la cause d'erreur qui est le « coup de froid ». Dominici a montré qu'après des nuits froides d'hiver les lapins et cobayes ont quelquefois des hématies nucléées dans le sang.

« 3° Si l'on admet que l'hyperglobulie périphérique est due à une vasoconstriction, il reste à en chercher les causes. On peut invoquer le froid, la sécheresse ou l'humidité, etc. Il serait intéressant d'analyser ces causes.

« 4° Enfin, il y aurait peut-être à examiner si l'hyperglobulie existe chez les animaux à sang froid (grenouilles ou lézards). Je ne me rappelle pas qu'on l'ait cherchée. Si elle existe, cela ferait pour plus tard, de ces animaux, un matériel commode à cause de leur résistance. »

Nous avons résolu, en conséquence, de nous conformer aux indications d'André Mayer. Nos recherches ont consisté, en ce qui concerne l'hyperglobulie, dans la comparaison des réactions observées chez des animaux diversement influencés par les facteurs physiques extérieurs. Nous admettions donc l'existence d'une hyperglobulie relative, liée à la présence de phénomènes périphériques. Néanmoins, sans répéter les observations comparées de sang périphérique et de sang central, nous avons tenu à

vérifier l'absence complète de néoformation globulaire. Nous avons exécuté ces expériences en compagnie du Dr Crouzon, chef de clinique du professeur Dieulafoy ; ses avis nous ont été précieux pour la préparation de notre ouvrage, et nous avons effectué nos travaux de laboratoire avec son aide et sous son contrôle.

Une de nos ascensions, organisée, le 2 août dernier, sous le patronage de l'Aéro-Club de France, a été spécialement consacrée à la réalisation de ce programme. Le départ a eu lieu au Parc aérostatique de St Cloud à 9 heures 20 du matin ; l'atterrissage s'est effectué à 12 heures 5, aux environs de Provins. L'altitude maxima (3.230 mètres) a été atteinte au bout de deux heures et demie. Grâce à l'habileté de M. Nicolleau qui nous pilotait, nous avons pu demeurer quarante minutes au-dessus de 3.000 mètres, en dépit de l'humidité de l'air. Il nous a donc été possible de consacrer à nos expériences tout le temps nécessaire.

Nous nous étions d'abord proposé de rechercher les traces d'une néoformation qu'avait jadis affirmée Gaule. A cet effet, nous avons recueilli, à terre et à 3.200 mètres, le sang périphérique d'un cobaye soumis à l'action extérieure de l'atmosphère. Nous l'avons ensuite sacrifié pour enlever sa rate et faire quelques frottis de moelle osseuse. Pour la préparation de nos pièces, nous avons suivi la technique de Dominici qui a bien voulu examiner nos coupes et auquel nous exprimons tous nos remerciements.

Observation I.

Examen histologique d'une rate de cobaye détachée à 3.280 *mètres, en ballon.*

Nous avons plongé la rate, aussitôt après l'avoir enlevée, dans la solution n° 3 indiquée par Dominici. Cette solution est utilisée pour les pièces destinées à être coupées ; on fixe pendant un laps de temps variant de 1 à 3 heures, suivant le volume et la nature de la pièce ; puis on lave pendant vingt-

quatre heures à l'alcool à 60°, et, ensuite, de nouveau pendant 24 heures, à l'alcool à 90°.

La solution n° 3 se prépare ainsi : « Faire bouillir de l'eau avec un excès de bichlorure de mercure. Laisser refroidir à 50 degrés environ, en agitant à l'aide d'une baguette de verre, la partie supérieure de la solution : le sublimé non dissous tombe au fond. Lorsque le liquide est refroidi à 50 degrés et que l'agitation l'a rendu aussi clair que possible, on verse doucement, dans une éprouvette graduée contenant déjà 15 centimètres cubes de teinture d'iode officinale, 100 centimètres cubes de la solution, en ayant bien soin de ne verser dans l'éprouvette que la partie supérieure de cette solution dont la partie inférieure, contenant le sublimé en excès et non dissous, ne doit pas être employée. Agiter, filtrer et ajouter à ce liquide un volume égal de la solution suivante :

Formol du commerce	8 grammes
Eau distillée	100 grammes. »

Voici quels ont été les résultats de l'examen de rate, répété et commenté par Dominici qui nous a donné les indications suivantes :

1° La rate paraît avoir conservé ses dimensions ordinaires.

2° Les dimensions respectives de l'appareil Malpighien et de la pulpe ne sont pas modifiées. Or, dans toute réaction myéloïde, on note l'agrandissement de la pulpe correspondant à l'accumulation des éléments myéloïdes, les myélocytes, les hématies nucléées.

3° La capacité des sinus de la pulpe semble à peu près la même que dans les conditions ordinaires. Il en est de même du calibre des veines.

En envisageant le détail, on trouve dans l'appareil Malpighien, que sa structure demeure tout à fait comparable à celle de l'état normal. Or, dans toute réaction myéloïde, il se produit une hypergénèse de cellules lymphatiques des corpuscules de Malpighi, un accroissement de volume de ces cellules et une métamorphose des cellules lymphatiques soit en hématies nucléées, soit en myélocytes.

Etude de la pulpe. — Les cordons de Billroth présentent la conformation normale. Le stroma conjonctif est, suivant la règle, essentiellement formé de grandes cellules fixes conjuguées en syncytiums et en plasmodes. Leurs cellules libres sont des grands macrophages et des cellules lymphatiques autochtones, des globules rouges et des polynucléaires d'origine sanguine. Les cordons de Billroth sont le siège d'une phagocytose marquée de polynucléaires et des globules rouges, qui se produit dans les macrophages libres et dans les grandes cellules fixes du stroma des cordons de Billroth.

Les sinus veineux et les veines contiennent des globules rouges, des polynucléaires, des cellules lymphatiques à enclaves acidophiles, des macrophages détruisant les globules rouges et les polynucléaires. Il en est de même en ce qui concerne le contenu des veines.

Aux éléments que nous venons d'énumérer, se joignent quelques hématies nucléées qui sont essentiellement des normoblastes. Le nombre de ces éléments ne nous paraît pas excéder celui des cellules rouges que peut renfermer une rate normale (la quantité des hématies nucléées persistant régulièrement dans la rate des mammifères adultes est, suivant Malassez et Picard, sujette à quelques variations correspondant aux diverses phases de la digestion). Or, la quantité des globules rouges nucléés présents dans la rate que nous avons examinée, ne dépasse pas celle qui correspond aux variations numériques d'ordre physiologique.

Dans une des deux coupes de rate existe un mégakériocyte identique à ceux de la moelle osseuse. La présence de rares mégakériocytes, de même que celle d'un petit nombre d'hématies nucléées, n'implique nullement la réaction myéloïde de la rate. Elle paraît tenir simplement à la persistance, chez l'animal adulte, d'une structure myéloïde rudimentaire de l'organe.

En définitive, en admettant que la quantité d'hématies nucléées fût un peu supérieure à celle que comporte la structure de la rate normale, la surproduction de ces éléments serait si faible relativement à celle que déterminent l'hémorragie, l'infection, les intoxications, que l'on peut la rapporter simplement à un trouble de la régulation circulatoire. Malassez et Picard ont démontré que des congestions temporaires de la rate, d'origine purement vasomotrice, pouvaient s'accompagner d'une faible augmentation de ces éléments figurés.

Observation II.

Examen histologique de préparations de sang sec recueilli à terre et à 3.200 *mètres.*

Nous avons ponctionné une veine de l'oreille d'un cobaye, à terre, avant le départ, et à 3.200 mètres. Le sang étalé sur une lame était ensuite fixé à l'aide de la solution n° 1, de Dominici :

« Verser 90 centimètres cubes d'une solution aqueuse de bichlorure de mercure, saturée à chaud, puis refroidie à la température ambiante (de 16° à 25°), dans 10 centimètres cubes de teinture d'iode officinale. Agiter. On obtient un liquide clair, de couleur jaune-brun, qui est une solution de bichlorure de mercure, d'iodo-chlorure de mercure et d'iode en liberté. »

Les préparations étaient ensuite colorées à l'éosine orange-bleu de toluidine.

Nous avons constaté que les globules rouges du sang prélevé en ballon avaient conservé les mêmes dimensions qu'à terre, avant le départ. Il n'existait pas d'hématies nucléées.

Observation III.

Examen d'un frottis de moelle osseuse, préparé à 3.200 *mètres.*

Nous avons fixé et coloré le frottis suivant la technique indiquée pour le sang. Nous n'avons trouvé aucun caractère indiquant une surproduction exagérée, soit de myélocytes, soit d'hématies nucléées.

Les observations précédentes confirment l'absence de néoformations globulaires pendant les ascensions en ballon. On est donc en présence d'une hyperglobulie relative, liée à des phénomènes périphériques. Nous avons, en conséquence, recherché dans une seconde série d'expériences, quels étaient les agents physiques susceptibles de produire ces phénomènes. La numération du sang de quatre cobayes placés dans des conditions atmosphériques différentes, devait nous donner l'explication de ces variations numériques.

Pendant l'ascension l'impossibilité d'examiner directement le sang au microscope nous a déterminé à employer la technique indiquée par Jolly. La goutte de sang obtenue en piquant à la lancette une veine de l'oreille, est aspirée par le mélangeur Potain, puis diluée à l'aide du sérum de Marcano (solution de sulfate de soude à densité égale à 1.020 : 100 volumes ; formol du commerce à 40 pour 100 : 1 volume). Le sérum conserve très bien les globules. Le mélange brassé est versé dans un petit tube de verre fermé par un bouchon en caoutchouc. Il suffit ensuite, quand on doit examiner les échantillons, d'agiter doucement une perle

de verre dans le liquide pour produire un mélange homogène que l'on étudie ensuite sous le microscope avec le compte-globules de Malassez.

Nous avons emporté quatre cobayes dont l'un était réservé comme témoin, tandis que les trois autres étaient soumis, le premier à l'action de l'humidité, le second à l'action de la sécheresse, le troisième enfin à celle de la chaleur. Le 31 juillet, avant-veille du départ, nous avons fait une première numération du sang veineux de l'oreille dans le laboratoire de la Clinique médicale de l'Hôtel-Dieu.

Nous avons obtenu les chiffres suivants :

Cobaye A.	3.172.000	globules rouges
Cobaye B.	5.976.000	—
Cobaye C.	3.908.000	—
Cobaye D.	3.652.000	—

Ces cobayes ont été laissés ensuite dans leur cage. On leur a donné, jusqu'au matin de l'ascension, leur nourriture habituelle.

Le jour de l'ascension, 2 août, nous avons fait une prise de sang dans le parc de l'Aéro-Club, avant le départ, en piquant une veine de l'oreille de chacun des cobayes et nous avons recueilli dans des tubes le sang mélangé avec du sérum de Marcano. Les animaux ont été ensuite placés dans leurs caisses. A 3.200 mètres, chaque cobaye est retiré un instant, enveloppé d'ouate pour écarter l'action physique de l'air ambiant, et une nouvelle prise de sang est faite. Les divers échantillons ont été rapportés au laboratoire du professeur Dieulafoy. C'est là que nous avons étudié le sang, le lendemain, de concert avec le Dr Crouzon qui a vérifié nos résultats.

Observation IV.

Cobaye conservé dans l'air saturé d'humidité.

Le premier des cobayes, cobaye A, a été placé, au moment du départ dans une caisse hermétiquement close, contenant une boîte de métal remplie d'ouate constamment imbibée d'eau, et ouverte. L'air entrait par un tube recourbé dont l'extrémité interne se terminait juste au dessus de la boîte. Cet air, en pénétrant dans la caisse, se trouvait au contact du liquide, et se chargeait d'humidité ; nous obtenions ainsi un milieu saturé d'eau à la température extérieure, soit 2 degrés, à 3.200 mètres.

Voici les chiffres obtenus pour le cobaye A avant et pendant l'ascension :

Cobaye A (humidité).

Avant le départ (T. = + 19°).	2.584.000 globules rouges.
A 3.230 mètres (T. = + 2°). .	3.064.000 —

Nous avons donc constaté dans le sang périphérique, une augmentation de 500.000 globules rouges par millimètre cube, chez un cobaye séjournant dans l'air humide.

Observation V.

Cobaye témoin, laissé à l'air extérieur.

Le deuxième cobaye, cobaye B, est gardé comme témoin. Il est placé dans une petite cage à barreaux, à l'intérieur de laquelle l'air circule librement, sans modification de température ou de degré hygrométrique. Deux prises de sang sont également effectuées.

Cobaye B (témoin).

Avant le départ (T° = + 19°). .	6.412.000 globules rouges.
A 3.280 mètres (T° = + 2°). .	7.272.000 —

Le cobaye témoin présente donc une hyperglobulie périphérique considérable, d'environ 800.000 globules par millimètre cube.

Observation VI.

Cobaye placé dans une atmosphère entièrement sèche.

Le cobaye C est introduit dans une caisse bien fermée. L'air y arrive en passant par un tube recourbé en U et contenant des cristaux de chlorure de

calcium. Il est donc complètement sec. Dans la caisse même se trouve une boîte percée de trous et contenant du chlorure de calcium avec lequel nous avons saupoudré, en outre, le plancher de la caisse. Un petit orifice y est pratiqué pour permettre à l'urine de s'écouler aussitôt.

Cobaye C (sécheresse).

Avant le départ (T. = + 19°). . 4.152.000 globules rouges.
A 3.280 mètres (T. = + 2°) . . 4.368.000 —

Il y a encore hyperglobulie, mais seulement de 200.000 hématies par millimètre cube.

Observation VII.

Cobaye subissant l'action de la chaleur.

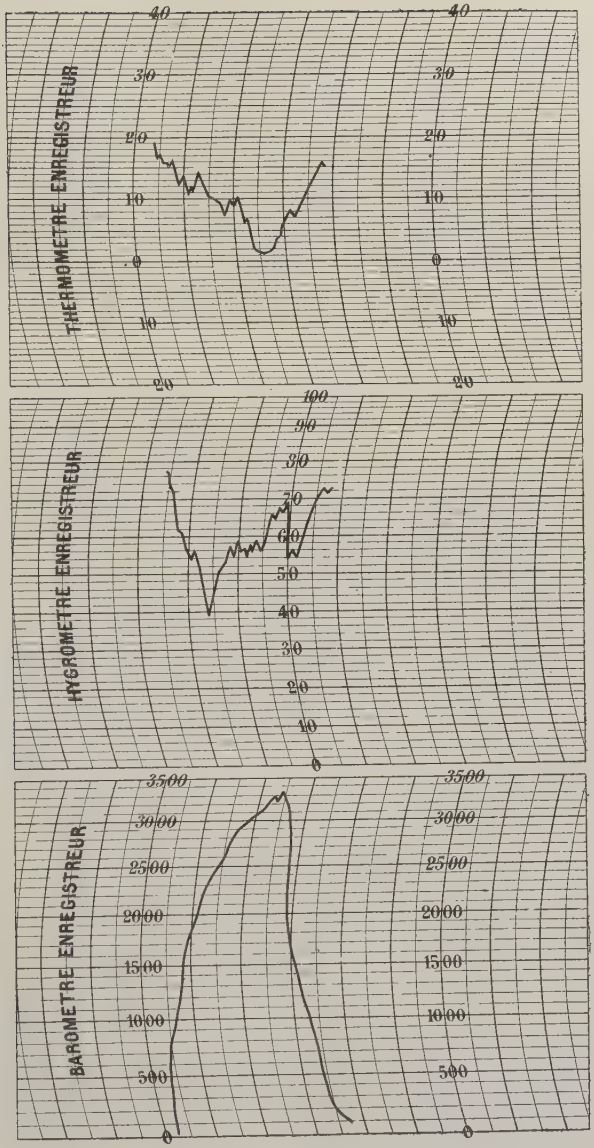
Pour supprimer entièrement, chez le cobaye D, l'action du froid, nous le mettons dans une caisse garnie d'ouate, et placée à son tour dans une nouvelle caisse. L'intervalle entre ces deux caisses est rempli d'ouate bien tassée, et nous obtenons ainsi une sorte de calorimètre qui permet d'empêcher les déperditions de chaleur. L'air extérieur arrive par un tube de verre bouché avec un léger tampon d'ouate. Au moment de la prise du sang, l'animal est sorti très rapidement, enveloppé d'ouate, l'oreille seule est découverte à l'instant précis de la piqûre.

Cobaye D (chaleur).

A terre, avant le départ (T. = + 19°). . . 3.052.000 globules rouges
A 3.200 mètres (T. = + 2°). . . . . 3.160.000 —

L'hyperglobulie est ici très faible et ne dépasse pas 90.000 globules rouges. Il y a égalité presque complète entre les deux chiffres du départ et de l'arrivée à une grande altitude.

Ces différentes observations nous montrent que l'hyperglobulie n'est vraiment sensible que chez les cobayes A et B, le premier placé dans un milieu humide, le second laissé au contact de l'air ambiant. Chez ce dernier, l'hyperglobulie atteint même le chiffre de 800.000 hématies par millimètre cube. Par contre, le cobaye C, qui se trouvait dans une atmosphère très sèche, n'a présenté qu'une très faible hyperglobulie qui a fait presque entièrement défaut chez le cobaye D, conservé dans une caisse chaude.


THERMOMETRE ENREGISTREUR
40
30
20
10
0
10
20
HYGROMETRE ENREGISTREUR
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
BAROMETRE ENREGISTREUR
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0

Ces résultats nous permettent de conclure à l'intervention des facteurs physiques extérieurs dans la production de l'hyperglobulie relative des aéronautes. Pour évaluer exactement l'importance de ces divers facteurs, nous avions emporté un appareil enregistreur de la pression, de la température et de l'état hygrométrique. Nous reproduisons p. 85 les trois courbes, dont M. Jaubert, Directeur de l'Observatoire météorologique de la Ville de Paris, a bien voulu faire les corrections.

Au moment où nous avons prélevé du sang sur nos cobayes, nous venions de traverser un nuage, signalé sur la courbe hygrométrique par la chute brusque à 40°. Les parois de la nacelle, les cordes de suspension étaient humides ; de même, le poil du cobaye témoin se trouvait chargé d'humidité. L'animal était ainsi dans les mêmes conditions que le cobaye respirant un air saturé d'eau. D'autre part, l'évaporation devait amener chez les deux cobayes un même abaissement de la température périphérique.

Nous avons constaté, pour ces deux cobayes, et chez eux seuls, une hyperglobulie très manifeste. Nous estimons donc que le froid et l'humidité jouent un grand rôle dans la production de l'hyperglobulie relative. Rappelons d'ailleurs que les aéronautes ressentent les symptômes de la vaso-constriction périphérique quand ils planent au milieu d'un nuage.

On peut expliquer de la sorte la diversité des résultats publiés jusqu'ici. Les expérimentateurs ne tenaient que peu de compte de l'état hygrométrique de l'air ; dans un cas cependant, Jolly a signalé une forte hyperglobulie des vaisseaux périphériques, au passage d'un nuage. Les conditions de notre expérience étaient donc reproduites. Comme conséquence, on devra noter soigneusement, désormais, pendant les ascensions physiologiques, les variations de la température, de l'humidité et de la pression.

On pourrait objecter à nos conclusions que l'hyperglobulie se retrouve sur les hauts plateaux où la sécheresse est, sans doute, considérable. Mais on ne peut, *à priori*, considérer les phénomènes comme identiques. A l'hyperglobulie apparente du début font peut-être suite des transformations réelles du sang, comme plusieurs expérimentateurs l'ont reconnu. Il ne nous est pas permis de considérer que cette hyperglobulie des aéronautes est la même que celle des hauts plateaux.

OBSERVATION VIII.

Recherche de l'hyperglobulie à 3,200 *mètres, chez un animal à sang froid.*

Etant donné l'intérêt qu'il y aurait pour l'avenir à examiner si les animaux à sang froid présentent de l'hyperglobulie pendant les ascensions, nous avons emporté dans la nacelle une grenouille que nous avions laissée dans un bocal rempli d'eau. Elle se trouvait donc sensiblement dans les mêmes conditions d'hygrométrie et de température en bas et en haut. Le sang a été obtenu en piquant la patte. Nous avons recueilli ce sang d'après la méthode précédente.

Avant le départ	108.000 globules rouges
A 3.200 mètres	100.000 —

Cette absence d'hyperglobulie nous montre que les animaux à sang froid ne sont d'aucune utilité pour ces études. Elle nous indique également que la grenouille, équilibrant sa température propre avec la température extérieure, ne réagit pas sous l'influence du froid et ne présente pas de modifications globulaires.

II. — L'HÉMOGLOBINE

Nous avons indiqué, au cours de notre étude sur l'hyperglobulie des ascensions, les rapports fixés par les auteurs entre le nombre de globules observés et la richesse du sang en hémoglobine. Cette hémoglobine qui donne au sang sa couleur rouge est un véritable ferment oxydant, très riche en fer. Elle absorbe l'oxygène au niveau des alvéoles pulmonaires, se transforme en oxyhémoglobine et se réduit ensuite dans le réseau capillaire, abandonnant son oxygène aux tissus. L'augmentation réelle du nombre des globules sous l'influence de la diminution de tension d'oxygène devrait ainsi s'accompagner d'une augmentation de la richesse du sang en hémoglobine. Rappelons enfin que l'hémoglobine se trouve à deux états, hémoglobine jeune et hémoglobine achevée, dont la valeur chromométrique est différente.

Les travaux de Paul Bert sur *la Pression barométrique* concluent en faveur d'une modification dans la nature ou la quantité d'hémoglobine. A leur tour, Viault et Jolyet observent que le sang des animaux vivant en plaine absorbe seulement 10 à 12 pour 100 d'oxygène, tandis que le sang de la vigogne et du lama en absorbe 19 ou même 21 pour 100. Le chiffre de 10 à 12 pour 100 au niveau de la mer est d'ailleurs inférieur à la normale. A Arosa, Egger dose sur dix lapins la quantité d'hémoglobine du sang. Il constate une augmentation moyenne de 24 pour 100 après quatre semaines et demie de séjour. De plus, il remarque que l'hémoglobine diminue légèrement les premiers jours pour

augmenter ensuite. Il a trouvé au bout de douze jours, chez neuf personnes, une augmentation d'hémoglobine de 7.23 pour 100 seulement, tandis que celle des globules atteignait 19.75 pour 100. Le rapport se modifie ensuite, et, après un mois de séjour, il y a un supplément de 15 à 32 pour 100 d'hémoglobine contre 23 pour 100 de globules. Le fait est d'accord avec la théorie de la néoformation globulaire. Les hématies jeunes sont peu riches en hémoglobine et ne se chargent qu'assez lentement de cette substance.

Les résultats de Mercier sont conformes aux précédents ; après une première période caractérisée par l'apparition de très nombreux microcytes (jusqu'à 200 sur 800 globules) et par la diminution de l'hémoglobine, le taux de celle-ci remonte et arrive à la normale quand s'achève la troisième semaine du séjour. Müntz trouve enfin, sur des animaux vivant au Pic du Midi, une augmentation du fer. Cependant, Abderhalden déclare que cette augmentation n'est qu'apparente, et qu'elle disparaît complètement si l'on rapporte le chiffre de l'hémoglobine à la masse totale du sang et au poids de l'animal.

Dans leurs expériences de laboratoire, Auscher et Lapicque diminuent, chez un chien, le sang de l'hématose en pratiquant sur lui un pneumothorax partiel et aseptique. Le développement du nombre des globules et de l'hémoglobine doit compenser la gêne apportée à l'hématose. Ils arrivent à ces résultats :

18 décembre.	5.124.000	globules rouges.	Teneur en fer (1.000) :	0,34.
21 —	5.336.000	—	—	0,34.
Opération.				
29 décembre	5.800.000	—	—	»
7 janvier	6.240.000	—	—	»
10 —	6.480.000	—	—	0,45.

Les auteurs obtiennent ainsi une hyperglobulie liée à l'aug-

mentation de la teneur en fer, qui indique que cette hyperglobulie est vraie.

A son tour, Quiserne étudie les rapports de l'hémoglobine et des globules. Il transporte à Briançon (1.500 mètres) quatre lapins dont deux ont été splénectomisés avant le départ. Il note les chiffres suivants, à Briançon :

Lapin 1 (dératé)	5.850.000 globules rouges (oreille)		100 hémoglobine	
Lapin 2 (dératé)	5.620.000	—	90	—
Lapin 3 (sain)	6.514.000	—	101	—
Lapin 4 (sain)	6.940.000	—	110	—

Tous ces cobayes présentent de l'hyperglobulie, moins nette chez les cobayes dératés, et en rapport avec une augmentation de l'hémoglobine.

Cette production de l'hémoglobine aux altitudes, paraît donc un fait acquis. Mais, les expériences effectuées dans les ascensions en ballon vont modifier ces résultats comme elles transformeront la question de l'hyperglobulie.

Pendant les ascensions de novembre 1901, Victor Henri et Calugareanu recueillent dans l'artère fémorale d'un chien deux échantillons de sang. La première prise est faite à terre avant le départ ; la seconde, à 3.500 mètres, à la température de 0°. Les analyses de ces échantillons montrent que la composition en eau, en azote et en fer est très voisine, à 3.500 mètres, de celle constatée à terre avant le départ. Le dosage du fer est effectué au retour par Lapicque.

« Il m'a été remis deux échantillons pesés de chaque sang, contenant, déduction faite de fluorure, les volumes de sang suivants :

I, a. 0 cc. 934.	Rapport color.	45/88	Fer pour 1 cc	0.558
I, b. 1 cc. 704.	—	45/47	—	0.536
II, a. 0 cc. 803.	—	45/102	—	0.536
II, b. 1 cc. 563.	—	45/56	—	0.510

Lapicque croyait alors à l'hyperglobulie vraie dans les ascensions en ballon, et pensait, en présence de ces résultats, « qu'il y avait eu une erreur dans l'étiquetage des échantillons, ou bien qu'il avait fait quelque faute de dosage, bien que l'écart des deux chiffres fût au-dessus, nettement, de l'incertitude du procédé ».

De son côté, Jolly compte les globules du sang prélevé en piquant la pulpe du doigt, et remarque que les quantités d'hémoglobine évaluées au colorimètre Malassez sont de 14 pour 100 à terre, de 15,5 pour 100 à 4.450 mètres et de 14 pour 100 à la descente. Ces quantités sont parallèles, et donnent une valeur hémoglobique constante et d'ailleurs normale.

C'est également en ballon que Schrœtter et Zuntz constatent l'absence de variations de l'hémoglobine.

L'année suivante, en 1902, E. Reymond et Tripet communiquent à la Commission Scientifique de l'Aéro-Club de France, les résultats des expériences qu'ils ont faites, le 20 juillet, dans le ballon *Eros* que conduisait M. de la Vaulx. Les auteurs se sont proposé d'étudier, à 5.500 mètres, les variations de l'hémoglobine dans le sang, la durée et l'activité de la réduction de l'oxyhémoglobine. L'augmentation de l'hémoglobine atteint, chez M. de la Vaulx, 4 pour 100 à 4.000 mètres, soit 16 pour 100 contre 12 pour 100 au départ. L'activité de réduction augmente également comme la durée de réduction. A 4.000 mètres, l'activité des échanges a plus que doublé pour deux sujets : elle n'est que de 1,8 chez le troisième.

En concluant, E. Reymond et Tripet déclarent que :

« 1° Aux grandes altitudes, la durée de réduction de l'oxyhémoglobine diminue au point d'atteindre et même de dépasser la moitié de la réduction normale.

« 2° Cette diminution est presque instantanée en ballon, en l'absence de toute fatigue.

« 3° La proportion d'oxyhémoglobine augmente d'une façon manifeste chez les sujets observés.

« 4° Au retour sur le sol, cette augmentation de l'oxyhémoglobine diminue ainsi que l'exagération de l'activité de la réduction pour se rapprocher de la normale. Cependant les deux facteurs restent encore supérieurs à l'état observé au départ. »

Ces phénomènes sont en rapport avec la tension de l'oxygène de l'air dans les altitudes élevées. Ils ne contredisent pas les résultats étudiés précédemment.

Enfin, dans l'ascension du 6 juillet 1904, Lapicque examine le sang central et y trouve, comme dans les ascensions de 1901, une diminution de l'hémoglobine. Cette diminution, qu'il avait autrefois attribuée à une erreur de technique, est donc bien réelle.

« 1° Chien jeune, 9 kilogrammes. A terre, canule dans la carotide ; recueilli 14 gr. 95 de sang dans un flacon taré contenant 0 gr. 97 de solution d'oxalate (de plus, prise de 30 grammes de sang environ dans une pipette de Saint-Martin). 2 centimètres cubes de ce sang oxalate sont étendus à 50 ; cette solution comparée à un étalon colorimétrique donne l'égalité de teinte sous une épaisseur de 42.

« A 300 mètres, canule dans l'autre carotide ; 14 grammes de sang sont recueillis dans un flacon taré avec 1 gr. 04 de solution anticoagulante. Etendu et observé dans les mêmes conditions : épaisseur colorimétrique 46, soit une diminution dans la proportion de matière colorante de 9 à 10 pour 100 ; la saignée effectuée en admettant que le volume sanguin eût été exactement établi, l'aurait fait baisser d'environ 6 pour 100.

« Sur les mêmes échantillons de sang, de Saint-Martin a trouvé en hémoglobine dosée au spectophotomètre respectivement 13 gr. 10 et 11 gr. 58.

« 2° Cobaye normal. A terre, prise dans le cœur d'un centimètre cube de sang (une seringue de Pravaz). Epaisseur colorimétrique 44. A 3.100 mètres, même prise. Epaisseur colorimétrique 46, soit 4 à 5 pour 100 de diminution dans la proportion de matière colorante. »

Ces expériences s'associent absolument à celles qui ont pour objet la numération globulaire. Il y a, dans le sang, concentration du plasma à la périphérie, sous l'influence de phénomènes vasomoteurs : ainsi s'expliquent les chiffres de globules et d'hémoglobine observés. Mais cette concentration n'existe pas dans les vaisseaux profonds dont les globules conservent, quant au nombre et quant à la richesse en hémoglobine, un équilibre constant.

Nous terminerons ce chapitre en rappelant les travaux de Guillemard et Moog, sur le Mont-Blanc. Ils constatent pendant le séjour, soit une variation du taux de l'hémoglobine dans le même sens que celle des globules, soit une variation en sens inverse. Le temps modifie d'ailleurs les résultats. Au début, lorsque les auteurs ont trouvé une diminution du taux de l'hémoglobine, elle indiquait la rétention d'eau ; puis survient la décharge urinaire et l'augmentation du taux de l'hémoglobine. Cet intéressant phénomène produit du côté des reins par les grandes ascensions, sera étudié à l'occasion de la pathogénie du mal en ballon.

Nous conclurons donc en estimant que le taux réel de l'hémoglobine ne varie pas dans le sang pendant les ascensions en ballon : les modifications apparentes sont liées à l'hyperglobulie relative souvent constatée dans le système veineux périphérique, et déterminée par des actions vasomotrices.

III. — LES LEUCOCYTES

La concentration du plasma sanguin dans les vaisseaux périphériques y détermine souvent l'accumulation des globules rouges. Il n'en est pas de même des leucocytes. L'indépendance est complète entre ces deux éléments figurés du sang, et nous allons inscrire dans les divers examens de globules blancs, effectués à terre et en ballon, des chiffres à peu près identiques.

Les recherches de Quiserne, en 1902, avaient porté sur quatre lapins transportés de Paris à Briançon. Les chiffres obtenus ont été les suivants :

	à Paris (4 mai)	à Briançon (16 mai)
Lapin n° 1 (splénectomisé). . . .	9.000 leucocytes	10.400 leucocytes
Lapin n° 2 (splénectomisé). . . .	8.600 —	10.000 —
Lapin n° 3 (sain)	6.000 —	4.800 —
Lapin n° 4 (sain)	7.400 —	6.000 —

Chez les deux lapins sains, les chiffres de Briançon sont inférieurs à ceux de Paris. Les deux premiers lapins, qui présentaient une augmentation des leucocytes, avaient été splénectomisés avant le départ, et leur acclimatement était laborieux.

C'est également dans une station d'altitude, au Lautaret (2.070 mètres), qu'Armand-Delille et André Mayer ont numéré les globules blancs de deux lapins.

Les chiffres qu'ils ont trouvés (5.000 par millimètre cube de sang), ne différaient pas des chiffres normaux du lapin.

Ces expériences ont été répétées en ballon. En 1901, Jolly examine des préparations de sang et compte les leucocytes dans

des échantillons prélevés à terre et à 4.450 mètres. Il ne constate pas de leucocytose. Les chiffres forment une courbe très irrégulière : on remarque que le point le plus élevé de cette courbe correspond à l'altitude maxima.

A terre	6.800	leucocytes
1.100-1.600 mètres	7.200	—
3.000 mètres	5.200	—
4.000 mètres	5.200	—
4.450 mètres	9.200	—
Au-dessous de 3.900 mètres	5.600	—
2.600 mètres	7.600	—

Les grandes oscillations de cette courbe empêchent d'en tirer des renseignements précis. Pour la proportion des variétés de globules blancs elle reste la même :

A terre, pour 100 leucocytes : 19 lymphocytes, 7 grands mononucléaires, 73.5 polynucléaires, 0.5 éosinophiles.

A 4.450 mètres : 18. 5 lymphocytes, 3. 5 grands mononucléaires, 78 polynucléaires, 0 éosinophile.

Les différences minimes restent dans la limite des erreurs possibles. La morphologie des globules blancs n'a donc pas varié.

De nouveau, en 1904, Jolly examine avec Victor Henri les leucocytes du sang recueilli, cette fois, en ballon, sur un lapin dont un sympathique a été sectionné au cou.

A terre, 2.800 leucocytes (sang de l'oreille normale) ; 4.600 (oreille du côté de la section).

A 2.500 mètres, 4.800 leucocytes (sang de l'oreille normale) ; 3.200 (oreille du côté de la section).

A 2.500 mètres, le sang carotidien contient 3.600 leucocytes. Il n'y a donc pas, à proprement parler, de leucocytose.

Nous avons répété, à notre tour, ces expériences, en numérant, en ballon, le sang périphérique de quatre cobayes.

Observation IX.

Nous avons examiné, au point de vue des globules blancs, le sang de quatre cobayes que nous avions placés dans des caisses décrites dans les observations IV à VII. Le cobaye A était dans une atmosphère saturée d'humidité ; le cobaye B, pris comme témoin, se trouvait dans une cage largement ouverte ; dans la caisse qui contenait le cobaye C, nous avions assuré la sécheresse complète de l'air ; enfin, pour le cobaye D, nous avions supprimé toute déperdition de chaleur.

Une première numération avait été effectuée deux jours avant l'ascension. La seconde et la troisième numérations ont été faites sur des échantillons prélevés à terre, avant le départ, et à 3.200 mètres, après deux heures et demie d'ascension.

Leucocytes :	Au laboratoire (31 juillet)	A terre, 2 août	A 3.200 mètres
Cobaye A (humidité).	6.000	3.600	4.000
Cobaye B (témoin).	12.000	10.400	9.200
Cobaye C (sécheresse)	4.000	5.600	6.800
Cobaye D (chaleur).	6.800	6.000	7.200

L'examen des chiffres nous permet de conclure à l'absence de la leucocytose pendant les ascensions en ballon.

Effectué sur le sang d'une grenouille, ce même examen nous a donné :

Au laboratoire	5.200	leucocytes.
A terre, avant le départ . . .	3.600	—
A 3.200 mètres.	4.400	—

Nous avions constaté, dans l'observation VIII, que le sang des animaux à sang froid ne se prêtait pas aux recherches en ballon.

IV. — LES GAZ DU SANG

Le sang contient normalement une certaine quantité de gaz dissous dans le plasma ou fixés dans les globules. Le principal de ces gaz est l'oxygène qui assure la nutrition des tissus. Les hématies se mettent, dans les alvéoles pulmonaires, au contact de l'oxygène de l'air ; cet oxygène se combine à l'hémoglobine pour former de l'oxyhémoglobine. Cette dernière se réduit à son tour dans le système capillaire, et abandonne l'oxygène aux tissus.

La quantité d'oxygène présent dans le sang artériel et le sang veineux est très différente. Il en est de même pour l'acide carbonique. A la pression normale de 760 millimètres de Hg, on trouve 48 centimètres cubes d'acide carbonique et 12 d'oxygène dans le sang de l'artère pulmonaire ; la proportion est de 40 centimètres cubes d'acide carbonique et de 20 d'oxygène dans la veine pulmonaire.

Enfin, en ce qui concerne le sang veineux, il y a des variations qui tiennent au territoire et à l'organe.

Lorsque la pression atmosphérique diminue, l'équilibre se rompt dans les vaisseaux et l'état de saturation se modifie. Si l'air contient moins d'oxygène qu'à l'état normal, le plasma abandonne aussitôt une partie de l'oxygène qu'il conservait en dissolution, la tension de ce gaz diminue autour des globules rouges, et l'oxyhémoglobine se transforme en hémoglobine et en oxygène. Ces phénomènes ne s'arrêtent qu'avec la production d'un nouvel équilibre. Fernand Bezançon et Marcel Labbé ont montré, dans leur *Traité d'hématologie*, que la quantité d'oxy-

gène absorbée au niveau de la mer et à 4.000 mètres était sensiblement la même. L'oxygène passe de l'air dans le sang, en raison de sa différence de tension. Cette tension est de 20.95 pour 100 d'atmosphère dans l'air ordinaire ; elle n'est plus que de 18 pour 100 dans les alvéoles pulmonaires, et de 2.9 pour 100 dans le sang veineux. Comme il ne faut qu'une tension de 4 pour 100 d'oxygène pour saturer complètement l'hémoglobine, cet excès de tension d'oxygène de l'air suffit à faire passer l'oxygène des alvéoles dans le sang.

L'acide carbonique constitue le second des gaz du sang. Il y a en moyenne 87 pour 100 d'acide carbonique dans le sérum sanguin, 13 pour 100 dans les globules. Cet acide carbonique existe dans le sang à l'état libre et en combinaison avec d'autres éléments. La quantité d'acide carbonique en liberté dans le plasma est très faible, soit 1.56 pour 100 dans le sang artériel, 3.82 pour 100 dans le sang veineux. Le reste de l'acide carbonique se trouve soit à l'état de combinaisons facilement dissociables par le vide, bicarbonate et phosphocarbonate de soude, soit à l'état de combinaison stable, carbonate neutre de soude.

Une certaine quantité d'azote est dissoute dans le plasma : son introduction est liée uniquement à la pression de l'air ; le chiffre d'azote contenu dans le sang variera donc dans de larges proportions suivant la pression barométrique. Il faut toutefois remarquer que l'abondance des globules rouges facilite, dans une large mesure, la solubilité de ce gaz.

Enfin, on rencontre dans le sang normal un très faible chiffre d'oxyde de carbone.

Tels sont les gaz ordinaires du sang. Nous étudierons leurs variations sous l'influence des ascensions aérostatiques. L'importance de ces chiffres apparaîtra lorsque nous discuterons la pathogénie du mal en ballon.

Les travaux de Paul Bert ont fait connaître que « dans l'air confiné, à des pressions inférieures à celle d'une atmosphère, la mort des moineaux arrive lorsque la tension de l'oxygène est représentée par un chiffre qui oscille entre 3 et 4 ». Ce chiffre indique à la fois la tension de l'oxygène et sa proportion centésimale. Sur les moineaux placés sous la cloche de la machine pneumatique, Paul Bert constatait, en diminuant la pression, une augmentation du nombre des inspirations, l'abaissement de la température, l'apparition de convulsions et bientôt la mort. Il ajoutait que « en vase clos, aux pressions inférieures à une atmosphère, la mort survient lorsque la tension O × P de l'oxygène de l'air est réduite à une certaine valeur qui est constante pour chaque espèce, ou qui du moins oscille dans de faibles limites autour d'une moyenne ».

Cette tension de l'oxygène a été calculée suivant les altitudes :

Altitude	Pression	Oxygène pour la pression de 0 m. 760	Oxygène dans le sang
2.500 mètres.	0 m. 560	15,4 p. 100	17,40 p. 100
4.000 »	0 » 450	12,4 »	15,9 »
6.000 »	0 » 340	9,3 »	12,0 »
8.000 »	0 » 250	6,9 »	9,9 »

En ce qui concerne les gaz du sang, Paul Bert a pu établir cette loi : « Quand la pression diminue, la quantité des gaz contenus dans le sang diminue également, mais en proportion un peu moindre que celle qu'indiquerait la loi de Dalton ; le sang perd ainsi plus d'oxygène que d'acide carbonique. »

Paul Bert reconnaît, d'autre part, que la quantité d'acide carbonique du sang diminue avec l'altitude ; cette diminution est d'ailleurs moins rapide que celle de l'oxygène. Cependant on ne peut rapporter la mort à l'acide carbonique du sang. La véritable cause est donc la faible tension de l'oxygène.

Dans de nouvelles expériences, on a pu abaisser la pression de l'air tout en maintenant le chiffre d'oxygène du début. On n'observe plus d'accidents, alors même que, avec une pression d'une demi-atmosphère, l'air contient 2×20.9 pour 100 ou 4.18 d'oxygène. Mais les accidents apparaissent, bientôt suivis de mort, lorsqu'on abaisse la pression de cet air désoxygéné, et dès que la tension de l'air arrive à 3.6, bien que la proportion d'oxygène soit encore de 40 et 60 pour 100. Si, à ce moment, on introduit de l'oxygène sous la cloche de la machine pneumatique, les accidents disparaissent.

Ces données sont très importantes, au point de vue de la physiologie des aéronautes. Elles montrent que, à de très grandes altitudes, il faudra respirer un air d'autant plus riche en oxygène que la pression atmosphérique sera plus faible. Si l'on négligeait cette précaution, on verrait bientôt survenir les symptômes du mal en ballon : accélération du pouls et de la respiration, vomissements, hémorragies, stupeur, paralysie des membres et mort. Ce sont les accidents qui ont causé la mort des aéronautes Sivel et Crocé-Spinelli, pendant l'ascension du ballon *le Zénith*.

C'est précisément sur ces deux aéronautes, qui devaient mourir pour n'avoir pu respirer assez tôt l'oxygène de leurs ballonnets, que Paul Bert avait étudié, comme sur lui-même, les modifications de la pression atmosphérique. Les expérimentateurs respiraient par un tube un air très riche en oxygène tandis qu'on abaissait progressivement la pression de la caisse dans laquelle ils se trouvaient. Paul Bert avait pu arriver, sans accidents, à une pression de 248 millimètres correspondant à plus de 8.800 mètres Depuis, il a été possible, en ballon, et grâce à l'oxygène pur, de dépasser l'altitude de 10.000 mètres.

A la suite de ces expériences, Paul Bert examine le sang humain en plaine et sur les hauteurs. Au niveau de la mer, Paul

Bert trouve dans le sang artériel 20 volumes d'oxygène pour 12 dans le sang veineux ; à la Paz où la pression n'est que de 480 millimètres de Hg, il n'y a plus que 10 ou 14 volumes d'oxygène dans le sang artériel, 8 ou 6 dans le sang veineux. C'est à des chiffres analogues qu'arrivent Speck sur l'homme, Fränkel et Geppert sur des animaux. Comment expliquer, à ces altitudes, le passage de 8 volumes d'oxygène dans le sang artériel ?

La proportion d'acide carbonique reste en effet la même dans l'air expiré. Paul Bert croit, pour sa part, à la meilleure utilisation des matériaux fournis à l'organisme.

Ces diverses théories devaient être contrôlées dans les ascensions en ballon. En 1901, Hallion et Tissot partent dans le ballon *Eros* conduit par M. Castillon de Saint-Victor. Les expérimentateurs se proposent de rechercher l'influence des variations rapides d'altitude sur les gaz du sang. Ils emmènent avec eux un chien de 48 kilogrammes sur lequel 4 échantillons de sang sont prélevés par ponction de la carotide. Le sang est mélangé avec une solution saturée de sulfate de soude. Après le retour au laboratoire, les échantillons sont devenus noirs, montrant que l'altération est déjà considérable. Aussi, Hallion et Tissot contrôlent-ils la qualité de ces échantillons en effectuant une nouvelle prise de sang qu'ils mélangent avec la même solution et qu'ils laissent reposer un temps égal. Cette contre-expérience montre qu'il faut réduire le volume total d'acide de 6.6 pour 100 et augmenter celui de l'oxygène de 19 pour 100.

Les auteurs concluent ainsi :

« 1° Jusqu'à 3.500 mètres, O et CO^2 contenus dans le sang ne suivent pas les lois de la dissolution des gaz. Ils varient en sens inverse de ces lois.

TEMPS	Altitude	Volume total des gaz	CO^2 après correction	O^2 après correction	Az sans correction	CO^2 sans correction	O^2 sans correction	Température
11h40	Sol.....	67.6	48.49	15.5	3.25	51.87	12.5	+9°
12.32	1.750 mètres	72.45	51.13	18.41	2.835	54.7	14.91	+2°
2.25	3.500 —	81.4	60.38	19.97	0.525	64.6	16.17	+2°
2.45	1 000 à 800 mèt.	79.6	60	15.7	2.73	64.2	12.7	+5°

« 2° L'azote contenu dans le sang suit les lois de la dissolution des gaz, c'est-à-dire qu'il s'échappe du sang à mesure que l'altitude augmente et que la pression barométrique baisse. Au niveau du sol, il y a 3 cc. 25 d'Az dans 100 cc. de sang; à 3.500 mètres, il y a 0 cc. 525 d'Az.

« 3° La quantité totale des gaz contenus dans le sang augmente avec l'altitude.

« 4° La quantité d'oxygène et d'acide carbonique contenus dans le sang augmente avec l'altitude. Le sang qui contenait au sol 15 cc. 5 d'O pour 100 cc. de sang, en a 19.7 à 3.500 mètres, et 15.7 à 800 mètres, en descente. »

En même temps qu'Hallion et Tissot, Victor Henri et Calugareanu se proposent d'examiner, en ballon, la densité du sang et la teneur en azote. Hallion et Tissot avaient noté, à 3.500 mètres, une grande diminution de la quantité d'azote dissous dans le sang. Ce phénomène était en rapport avec les lois sur la dissolution du gaz aux différentes pressions. Par contre, Victor Henri et Calugareanu ne constatent pas de changements. Ils emploient pour la densité la méthode du flacon avec 14 centimètres cubes de sang. Cette densité est de :

A terre. 1.061

A 3.200 mètres. 1.062

Les chiffres restent donc les mêmes. Le dosage de l'azote

total, effectué par la méthode de Kjeldah, sur 5 centimètres cubes de sang, leur donne :

En bas . . . . . 3 gr. 16 d'azote p. 100 cc. de sang.
A 3.200 mètres . . . . 3 gr. 14 — —

Soit une très faible diminution dans la teneur du sang en azote.

Dans de nouvelles expériences de laboratoire, J. Tissot recherche, en 1902, l'action de la décompression sur la proportion des gaz contenus dans le sang. Il place un chien de 30 kilogrammes dans un appareil spécial qui lui permettra de déterminer exactement le degré de décompression. Divers échantillons sont prélevés, avant, pendant et après l'expérience. Le sang est ensuite recueilli sur une solution concentrée de sulfate de soude et d'oxalate de sodium qui diminue considérablement l'absorption de l'oxygène par les hématies. L'examen du sang est effectué au bout de 13 heures, dans le laboratoire de Chauveau.

Le tableau suivant donne les quantités de gaz contenus, aux différents degrés de décompression, dans 100 centimètres cubes de sang artériel du chien :

TEMPS	PRESSION BAROMÉTRIQUE	CO^2	O^2	Az	VOLUME TOTAL DU GAZ
	cent.	cent. cubes	cent. cubes	cent. cubes	cent. cubes
4 h. 45 minutes	75	41.17	16.26	1[illegible]	59.1
4 h. 53 minutes	»	»	»	»	»
(Début de la décompression).					
5 h. 55 minutes	54.5	36 00	18.74	1 41	56.15
6 h. 53 minutes	48.75	42 31	15 29	2.03	59.63
(Rentrée de l'air).					
7 heures	62	42.44	15.00	1.44	58 8
7 h. 15 minutes	75	44.6	15.22	1.78	61.6

Ces chiffres permettent à J. Tissot de conclure ainsi :

« 1° La quantité totale des gaz contenus dans le sang ne varie pas et est indépendante de la pression extérieure jusqu'à une tension de 48 centimètres de Hg.

« 2° La quantité d'oxygène contenu dans le sang reste constante, ce qui signifie que, jusqu'à la tension de 48 centimètres de Hg, ce gaz n'obéit pas, au niveau de l'épithélium pulmonaire, aux lois de la dissolution du gaz.

« Je n'ai pas retrouvé l'augmentation du volume total du gaz et surtout l'augmentation du volume d'oxygène (coïncidant avec la diminution de pression) que nous avons constatée, Hallion et moi, au cours de notre ascension en ballon. Mais l'absence de diminution du volume des gaz est le fait seul qui a une grande signification.

« L'augmentation de la quantité d'oxygène que l'on constate dans le deuxième échantillon de sang (18 cc. 74 pour 100 au lieu de 16,26) a eu pour cause la polypnée provenant d'une gêne respiratoire antérieure de quelques minutes et provoquée par le mors et les liens qui fixent la tête. »

De nouveaux résultats sont fournis par les ascensions organisées en 1906 sous le patronage de l'Aéro-Club de France. Des échantillons de sang de chien sont recueillis à terre et à 3.000 mètres. Le dosage des gaz du sang est effectué par G. de Saint-Martin.

1° *Ascension du 6 juillet 1904* (Lapicque). — Gaz secs mesurés à 0 degré et sous la pression de 760 millimètres, dégagés par 100 centimètres cubes de sang.

	Sang carotidien recueilli à terre avant le départ	Sang carotidien recueilli à 3.200 à 3.500 m. 2 h. après
CO^2	32 cc. 6	33 cc. 13
O	15 cc. 0	11 cc. 02
Az	1 cc. 8	1 cc. 3
Total :	49 cc. 4	45 cc. 45

Hémoglobine dans 100 centimètres cubes (dosée au spectrophotomètre) :

13 gr. 10 11 gr. 58

2° *Ascension du 16 juillet 1904* (Victor Henri). — Gaz secs mesurés à 0 degré sous la pression de 760 millimètres dans 100 centimètres cubes de sang.

	Sang central recueilli à terre	Sang central recueilli à 2.500 mètres
CO^2	37 cc. 15	36 cc. 3
O	15 cc.	12 cc. 1
Az	1 cc. 8	1 cc. 5
Total.	53 cc. 95	49 cc. 9

« Les dosages de l'hémoglobine faits sur les échantillons recueillis dans ce but, lors de la deuxième ascension, ne peuvent être utilisés en raison de l'incertitude existant sur le rapport exact du sang prélevé au liquide anti-coagulant. »

Ces examens montrent à G. de Saint-Martin que : « 1° La proportion de l'acide carbonique contenu dans le sang paraît n'être que médiocrement influencée par un changement brusque d'altitude. Par contre, les chiffres de l'oxygène et de l'azote s'abaissent régulièrement à mesure qu'on s'élève.

« 2° Une ascension rapide, loin d'amener une concentration du sang central, a produit un effet manifestement contraire dans la seule observation double que nous avons faite. »

En ce qui concerne les variations de l'alcalinité du sang, Galeotti a observé qu'elle diminuait de 36 à 44 pour 100 de sa

valeur à l'altitude de 2.000 mètres. La cause première de cette diminution de l'alcalinité serait la quantité moindre d'oxygène inspiré.

A son tour Aggazzotti s'est demandé si l'on obtiendrait, sous la cloche de la machine pneumatique, une diminution de l'alcalinité du sang analogue à celle que l'on note dans les altitudes élevées. Cette alcalinité moindre a été retrouvée, et résulterait : pour Aggazzotti, de la diminution de l'acide carbonique dans le sang, ainsi que de la formation de produits incomplètement oxydés, en raison de la faible teneur de l'air en oxygène.

La diminution de l'alcalinité du sang est d'ailleurs moindre que celle qu'a observée Galeotti aux grandes altitudes Cela tient à la lente accumulation des produits insuffisamment oxydés, qui déterminent ainsi des accidents d'anoxyhémie plus violents aux altitudes que pendant une rapide expérience sous la cloche de la machine pneumatique.

D'autre part Aggazzotti recherche s'il existe un rapport entre la réaction vraie et la réaction potentielle du sang à la pression normale et dans l'air raréfié. Il constate que les modifications sont les mêmes, dans l'alcalinité potentielle comme dans l'alcalinité réelle. Pour ses études l'auteur emploie la méthode titrimétrique qui ne peut servir à déterminer la réaction vraie d'un liquide, mais qui indique les variations de réaction du liquide.

En terminant cette étude des gaz du sang, nous constaterons qu'il existe une limite de tension de l'oxygène dans le sang, au-dessous de laquelle la vie n'est plus possible. Les effets de la dépression atmosphérique peuvent donc être retardés par l'aspiration d'oxygène. Dans le sang même, la quantité d'azote dissous diminue avec l'altitude. Par contre, et jusqu'à 3.500 mètres environ, l'oxygène et l'acide carbonique ne paraissent pas suivre les lois de la dissolution des gaz.

V. — LA PRESSION ARTÉRIELLE

Lorsque des aéronautes s'élèvent en ballon, ils se trouvent placés sous l'influence d'un certain nombre de facteurs physiques dont les principaux sont la dépression barométrique, les variations de la température et de l'état hygrométrique de l'air. Existe-t-il, en présence de ces causes diverses, une modification de la pression artérielle ? Les expériences qui suivent vont nous indiquer les principaux résultats obtenus. Nous joindrons à cette étude nos observations personnelles sur ce sujet.

Pendant leur ascension dans le ballon *Eros*, le 21 novembre 1901, Hallion et Tissot ajoutent à leurs expériences sur l'influence des variations rapides d'altitude la mesure de la pression artérielle aux diverses altitudes. « Comme il fallait s'y attendre, écrivent-ils, la pression dans l'artère fémorale, qui était de 15 centimètres cubes en moyenne sur le sol au départ, est restée invariable et était encore de 15 centimètres cubes à 3.500 mètres, bien qu'à ce niveau nous eussions déjà une dépression barométrique de 27 à 28 centimètres cubes de Hg environ. »

L'altitude n'influerait donc pas sur la pression artérielle qui resterait indépendante des variations de pression, et ne subirait pas les effets des phénomènes vasomoteurs.

Signalons, à cette époque, la communication des D^rs^ E. Reymond et Tripet qui, pendant une ascension, auraient observé un abaissement de la pression en rapport avec l'altitude, soit au sol et à 1.000 mètres, une pression de 17, 18 et 16 centimètres

de Hg chez trois sujets, tandis qu'à 4.000 mètres elle ne dépassait pas 13 et 14 centimètres. « Le moindre effort, à 5.000 mètres, faisait remonter aussitôt la pression jusqu'à 17, 19 et 21 centimètres. L'état de jeûne ou de digestion n'a pas influencé la pression, mais, à une altitude de 5.000 mètres, le moindre effort détermine une ascension brusque et momentanée de cette pression. » Ces chiffres présentent un écart supérieur à ceux que l'on a publiés au sujet de la pression artérielle dans les altitudes.

Les résultats constatés par Hallion et Tissot étaient en faveur de l'égalité de la pression en dépit des changements d'altitude. A son tour Camus se propose d'étudier au laboratoire les variations de cette pression artérielle lorsque la pression atmosphérique se modifie. Pour réaliser ces expériences, Camus se sert d'un appareil grâce auquel la pression sera réglée au gré de l'expérimentateur qui se trouve, ainsi que les instruments enregistreurs, en dehors de cet appareil.

« L'ensemble du dispositif se compose d'un cylindre où est enfermé l'animal en expérience, d'un régulateur de pression, d'une trompe à eau et d'un double manomètre enregistreur avec son cylindre.

« Le cylindre où est placé l'animal est en tôle et de dimensions un peu supérieures à la taille de l'animal. La fermeture est réalisée par une série d'étriers à vis, qui appliquent le couvercle sur la base du cylindre ; une rondelle de caoutchouc interposée entre les deux pièces de l'appareil fait joint et permet d'obtenir une occlusion hermétique. Une glace épaisse de 10 centimètres de diamètre se trouve à la partie supérieure du cylindre et rend l'observation possible à l'intérieur.

« L'animal est fixé sur une gouttière qui est attenante au couvercle ; cette gouttière est hémicylindrique et glisse facilement à l'intérieur du cylindre. Sur le couvercle existent trois ouvertures

qui sont hermétiquement fermées par des bouchons de caoutchouc percés de un ou deux trous. Quatre tubes de verre pénètrent par ces orifices dans le cylindre ; le premier communique avec l'appareil aspirateur, le deuxième avec le régulateur de pression, le troisième avec un manomètre inscripteur de la pression de l'enceinte et le quatrième avec un manomètre inscripteur de la pression artérielle.

« La trompe peut faire rapidement un vide relativement considérable, car l'ensemble est d'une faible capacité. L'appareil de réglage maintenant la dépression constante à une valeur déterminée, l'air circule autour de l'animal et à aucun moment les accidents du milieu confiné ne sont à redouter.

« Le régulateur est une cuve profonde de mercure surmontée d'une chambre à air fermée par un bouchon à deux trous ; par l'un des trous l'air qui surmonte le mercure est mis en rapport avec l'enceinte où se trouve l'animal, par l'autre trou glisse à frottement un long tube en verre que l'on enfonce à volonté dans le mercure ; c'est par ce tube que pénètre l'air qui arrive à l'animal dans des conditions déterminées de pression.

« Les deux manomètres à mercure donnent l'enregistrement de la pression dans l'enceinte et de la pression sanguine ; pour éviter une course trop étendue aux plumes, les deux branches sont de diamètres inégaux et les déplacements verticaux sont ainsi réduits au quart.

« Le liquide du manomètre artériel pénètre dans le sang, pendant la baisse de pression, mais cette rentrée qui est très faible et qui n'a pas d'influence appréciable quand la baisse de pression est lente, peut très aisément être évitée en maintenant le manomètre fermé pendant la descente de la pression atmosphérique, et en réglant à nouveau et la remise en rapport avec le sang de l'artère.

« J'ai réalisé sur le lapin un certain nombre d'expériences de durées variables et je n'ai jamais rencontré de difficultés pour l'inscription, j'ai poursuivi plusieurs expériences pendant plus de deux heures, et toujours le manomètre artériel a donné des tracés irréprochables. »

En examinant les résultats obtenus grâce à l'emploi de cet appareil, Camus constate surtout le parallélisme des courbes de la pression sanguine et de la pression atmosphérique. Les variations de la pression atmosphérique, qu'elles soient lentes ou rapides, de faible ou de grande intensité, n'arrivent pas à rompre ce parallélisme. Il y a dans cette action de dépression atmosphérique un phénomène purement physique, qui ne retentit pas sur l'organisme. En outre « l'action de la dépression atmosphérique ne se fait pas sentir directement sur la pression sanguine, mais très indirectement, par l'intermédiaire des modifications respiratoires. Ce n'est que lorsque les échanges sont troublés par suite d'une grande diminution de tension de l'oxygène, que les modifications dans le rythme respiratoire et cardiaque ainsi que dans le tonus vasculaire apparaissent et font varier la pression sanguine. »

Camus fait enfin remarquer que des pressions très basses produites brusquement, ne s'accompagnent pas de changements dans la tension artérielle parce que l'animal n'est pas encore incommodé par cette diminution de l'oxygène. On ne doit donc pas craindre les accidents qu'auraient pu causer une ascension rapide ou une descente brusque d'une altitude très élevée.

Cette théorie est en désaccord avec celle de Bartlett, de New-York, qui communique, en 1903, à la Société de Biologie, les observations qu'il a faites sur des lapins respirant un air raréfié. Bartlett admet que le mal des montagnes résulte d'un trouble mécanique de la circulation pulmonaire. Quand la pression atmosphérique diminue de moitié, on observe dans la circulation

des modifications analogues à celles que détermine l'insuffisance mitrale.

En faisant respirer à des lapins, par une canule trachéale, de l'air raréfié, Bartlett constate que la pression dans l'aorte diminue d'autant plus que la pression atmosphérique est plus basse. Au contraire de Camus, il observe qu'en diminuant brusquement la pression atmosphérique, celle du sang s'abaisse davantage. Mais le baromètre indique un écart plus sensible, il y a dyspnée, et la pression sanguine augmente tandis que les pulsations du cœur se ralentissent, phénomènes indiquant l'asphyxie. Quand, enfin, on sectionne les deux sympathiques, la pression sanguine s'élève même pour une faible dépression de l'air, et elle reste haute quand on fait respirer l'animal à l'air libre.

Les conclusions de Bartlett sont contestées par Camus qui n'a jamais vu la pression sanguine modifiée directement par une variation de la pression atmosphérique. Il maintient la théorie du parallélisme des courbes, tant qu'aucun autre facteur que la diminution barométrique n'intervient.

Le défaut d'équilibre de la pression à l'intérieur et à l'extérieur des vaisseaux permet à Aggazzotti d'expliquer comment se forment les hémorragies dans les os du crâne des oiseaux, par suite de fortes raréfactions. Ces hémorragies se produisent quand la pression atmosphérique augmente à nouveau. A l'intérieur des os du crâne, il existe des lacunes dans lesquelles la pression est restée basse, et la pression sanguine suffit alors à déterminer des ruptures de vaisseaux, qu'empêcherait la perforation du tympan ou de la table externe des os du crâne. Aggazzotti compare ces hémorragies à celles des ventouses : un petit nombre de vaisseaux sont dans un milieu à basse pression. Le reste demeure à la pression normale. Ces faits peuvent donner l'explication de certaines hémorragies signalées dans le mal en ballon.

De son côté, Bardel étudie la relation des températures, concentrations moléculaires, pressions osmotiques animales entre elles et l'atmosphère. Cette communication est intéressante au point de vue de la pression artérielle dans les ascensions. Voici les faits sur lesquels sa théorie est appuyée :

« Soit T la température absolue d'une solution aqueuse physiologique ou non, Δ son abaissement cryoscopique, H sa pression osmotique en centimètres de mercure.

Une solution aqueuse de pression osmotique H = 76, à la température absolue T = 273 ou 0 degré centigrade, se congèle à — 0°639.

Les variables Δ, T, H des solutions aqueuses sont liées entre elles par la condition suivante, quelles que soient les valeurs qu'elles puissent prendre :

1° $\frac{\Delta T}{H} = \frac{0{,}639 \times 273}{76} = 2.275 =$ constante.

D'où l'on tire la mesure de l'une, en fonction des deux autres :

2° La température $T = \frac{2{,}275\ H}{\Delta}$.

3° La concentration moléculaire $\Delta = \frac{2{,}275\ H}{T}$.

4° La pression osmotique $H = \frac{\Delta T}{2{,}275}$.

Cette dernière expression est remarquable ; c'est une méthode nouvelle, rapide et rigoureuse, de détermination de pression osmotique au moyen de deux mesures faciles à exécuter.

Chez les êtres vivant dans l'atmosphère, l'expression $\frac{2{,}275}{\Delta T}$ est toujours égale à la pression barométrique du moment de l'expérience H'.

5° $\frac{\Delta T}{2{,}275} = H' = H$. La pression osmotique animale égale la pression atmosphérique.

D'un autre côté, les mêmes relations que 1, 2, 3, 4 existent entre les grandeurs correspondantes H', T, Δ' de l'atmosphère.

$6° \frac{\Delta' T}{H'} = 2{,}275 =$ constante.

$$T' = \frac{2{,}275\ H'}{\Delta'},$$

$$\Delta' = \frac{2{,}275\ H'}{T'},$$

$$H' = \frac{\Delta' T'}{2{,}275}.$$

si l'on convient de désigner par Δ' l'abaissement que produirait, dissous dans un même volume de solution aqueuse à la température T' et à la pression barométrique H' un volume de gaz à la température T' et à la pression barométrique H'.

Les rapports qui lient Δ, T, H physiologiques avec Δ' T' H' atmosphériques sont contenus dans les égalités 5 et 6.

$7° \frac{\Delta T}{2{,}275} = H = H' = \frac{\Delta' T'}{2{,}275}$ d'où $\Delta T = \Delta' T'$ hétérothermes.

8° et dans le cas où T = T', l'on a Δ = Δ' homéothermes.

« Puisque, dans un milieu aqueux ou gazeux, deux mesures suffisent pour connaître la troisième, la connaissance intégrale des rapports qui unissent entre elles les trois grandeurs physiques dans le même animal, ou ces trois grandeurs, avec les mêmes d'un autre animal, ou encore avec celles de l'atmosphère, exige en tout quatre mesures : une température animale, une température atmosphérique, une mesure barométrique, une mesure cryoscopique. Cette dernière doit être prise avec une approximative d'un millième de degré, une erreur de 1 centième produisant dans l'estimation de la température une différence de 1°73 et dans celle de la presssion osmotique une de 1 c 85 en plus ou en moins.

I. — La température de l'homme étant de 37 degrés centigrades ou

$$T = 273 + 37 = 310 \text{ degrés,}$$

si la pression osmotique égale la pression à H' = 76 nous avons, d'après la 3e proposition :

$$\Delta = \frac{2{,}275\ H}{T} = \frac{2.275 \times 76}{310} = 0°558.$$

Quelques auteurs donnent 0,56, d'autres 0,55 ; les uns et les autres peuvent avoir raison, si l'on réfléchit qu'ils n'ont pas tenu compte de la pression atmosphérique :

$$\Delta = 0°56 \text{ sous la pression } H' = \frac{\Delta\ T}{2.275} = 0{,}767 = \frac{0{,}56 \times 310}{2.275}$$

$$\Delta = 0°55 \text{ sous la pression } H' = \frac{\Delta\ T}{2{,}275} = 0{,}749 = \frac{0{,}55 \times 310}{2{,}275}$$

II. — Le blanc d'œuf de poule se congèle à — 0,52. Température de la poule 314°5 (41°5 centigrades) ; pression barométrique, 0,72 ; altitude, 480 mètres.

$$\text{La pression osmotique } H = \frac{\Delta\ T}{2{,}275} = \frac{0{,}52 \times 315}{2{,}275} = 0.72$$

= pression barométrique.

III. — Δ de la grenouille = 0,591 ; sa température T = 278° 5 (5°5 centigrades) ; T' atmosphérique = 278 degrés (5° centigrades) ; pression barométrique H' = 0,72 ; altitude, 480 mètres.

$$\text{La pression osmotique } H = \frac{\Delta\ T}{2{,}275} = \frac{0{,}591 \times 278{,}5}{2{,}275} = 072$$

= pression barométrique.

« Ces trois exemples ont été choisis parmi les types de vertébrés à températures et à concentrations moléculaires bien différenciées. »

Il résulte de cette note, que la pression osmotique animale et la pression barométrique sont égales et varient dans le même sens.

Par conséquent, à la même température, l'animal et l'atmosphère doivent avoir la même pression. Bardel ajoute que le produit de la température par la concentration, divisé à son tour par la pression, est un nombre constant, le même pour tous les animaux, pour l'atmosphère à toutes les altitudes, enfin pour toutes les solutions aqueuses, gazeuses ou autres.

Ces divers travaux éclairent la question de la pression artérielle en ballon. Pour élucider plus complètement le rôle de certains facteurs, Lapicque a profité d'une ascension aérostatique, en juillet 1904, et a pris des graphiques de pressions artérielles et veineuses. Voulant dégager plus clairement le rôle des phénomènes vaso-moteurs sur la pression vasculaire, Lapicque avait imaginé le dispositif suivant :

« Deux tubes en U, disposés comme tous les manomètres à mercure physiologiques, portent à leur partie inférieure une tubulure qui permet de les faire communiquer ; cette communication établie, le niveau du mercure s'égalise dans les deux branches ouvertes ; les deux branches reliées aux vaisseaux fonctionnent comme un manomètre différentiel. Si on met en relation le bout central d'une artère avec un des tubes en U et le bout périphérique avec l'autre, on peut lire à chaque instant la valeur absolue de la pression dans chaque bout de l'artère, par la dépression du niveau du mercure dans la branche correspondante par rapport au niveau libre, mais, en outre, l'attention est tout de suite attirée sur le phénomène vaso-moteur s'il s'en produit un dans le domaine de l'artère considérée, par une augmentation ou une diminution de l'écart entre les niveaux des deux branches en relation avec le sang.

« Le chloralose offre un moyen extrêmement commode d'immobiliser l'animal, sans avoir besoin de respiration artificielle et sans altérer, comme on sait, l'innervation vaso-motrice. Dans ces

conditions, j'ai pu obtenir une bonne observation de la pression carotidienne, c'est-à-dire de la circulation céphalique sur un chien, dans l'ascension du 6 juillet.

Chien, 12 kilogrammes. A 10 heures, injection dans la saphène d'une solution tiède de chloralose dans l'eau salée physiologique, 2 grammes de chloralose pour 250 centimètres cubes de liquide ; injection, 150 centimètres cubes.

A 11 heures, l'animal bien endormi du sommeil spécial de la chloralose, est fixé sur le dos sur une planche accrochée horizontalement sur le bord de la nacelle, extérieurement ; le manomètre est mis en relation avec les deux bouts de la carotide gauche.

Au départ du ballon, qui se fait avec une grande douceur, aucun changement dans la pression d'un côté ni de l'autre. En 40 minutes, nous atteignons l'altitude de 2.700 mètres. Il n'y a eu aucune modification. J'ai deux fois nettoyé la canule du bout périphérique, craignant que cette fixité absolue ne fut causée par un caillot (avec le dispositif différentiel, le pouls du bout central se fait sentir d'un côté comme de l'autre, de sorte qu'on ne serait pas prévenu de la coagulation du bout périphérique par l'immobilité de la colonne de mercure correspondante) ; à ce moment, baisse de 10 à 15 millimètres dans le bout central, le bout périphérique sans variation ; puis la pression centrale remonte et la pression périphérique baisse progressivement. L'animal s'agite un peu et gémit, injection de 30 centimètres cubes de solution de chloralose, qui ne produit aucun accident visible dans la marche de la pression.

Nous avons dépassé 3.000 mètres. Les deux pressions restent un moment stationnaires, gardant l'écart entre elles qui vient de se produire ; puis les deux pressions baissent ensemble, la périphérique un peu plus vite ; à 1 heure, l'animal est sacrifié.

Voici les chiffres notés pendant cette observation ; il faut dire que du moment d'une notation au moment qui précède la notation suivante, il ne s'est produit aucun changement ».

heure	Altitude	Température	Pression centrale	Pression périphérique
11 h. 12	0 m.	21°	16-17	11.5-12
11 h. 50	2.700	15°	15	11.5-12
midi	3.000	13°	15,5	11.5
12 h. 20	3.150	14°	16-17	11
12 h. 25	3.300	11°	16.5	10.5
12 h. 40	3.200	12°	16	10.5
12 h. 50	3.250	12°	15-15.5	8.5
1 h.	3.400	12°	15-15.5	8.5

En examinant le tableau ci-dessus, on constate d'abord, au bout de 40 minutes d'ascension et à l'altitude de 2.700 mètres, une légère diminution de la pression centrale. Lapicque la croit produite par une vaso-dilatation abdominale. Il y a en même temps vaso-constriction céphalique, puis rapidement vaso-dilatation céphalique assez marquée et persistante : en même temps, la pression générale revient à son niveau.

En conclusion, Lapicque est disposé à admettre la vaso-dilatation céphalique comme un phénomène normal dans les ascensions en ballon. A l'appui de cette proposition, l'auteur rappelle que les chiens non anesthésiés deviennent somnolents aux environs de 3.000 mètres, et que, d'autre part, les aéronautes éprouvent parfois, lorsqu'ils se baissent pour prendre du lest dans la nacelle, une impression de vertige caractéristique de la lègère congestion de la face. Nous avons nous-même ressenti une sensation analogue en ballon à l'altitude de 3.200 mètres.

Enfin il n'existe aucune influence directe du changement de pression atmosphérique sur la valeur relative de la pression sanguine.

C'est à l'action chimique de l'atmosphère que Mosso attribue, de son côté, l'action sur l'organisme. En examinant la pression sanguine à l'altitude de 4.500 mètres, Mosso ne trouve, quand la fatigue est exclue, aucune différence avec la normale. Il est même arrivé, en plaçant des chiens sous la cloche pneumatique, à réaliser une pression de 128 millimètres de Hg correspondant à l'énorme altitude de 14.200 mètres, sans que la pression du sang diffère sensiblement de la normale. Ces faits sont en opposition avec ceux que nous avons exposés jusqu'ici.

Pour terminer cette étude, nous rappellerons qu'Henri Petit indique la fatigue comme étant la cause du retard dans l'abaissement de pression pendant les ascensions de montagne, tandis que,

dans les descentes, il y a un abaissement de pression qui précède la fatigue. Cet abaissement serait plus ou moins compensé au début, mais il augmente ensuite avec la fatigue. Ces dernières expériences pourraient donc être rapprochées des observations antérieures.

Nous signalerons enfin la note de Gastou qui, lui, trouve une notable augmentation de la tension artérielle en ballon. Les chiffres s'élèvent de 14 et 15 à 22 et 26 quand l'altitude de 1.600 et 1.800 mètres est atteinte. Chez les deux sujets l'écart est également considérable entre le chiffre obtenu au départ et celui de l'altitude maxima.

Nous avons voulu rechercher, à notre tour, les variations de la pression artérielle à terre et en ballon. Dans une première ascension, le Dr Crouzon a pris notre tension artérielle avant le départ et à l'altitude de 3.200 mètres. Ces chiffres ont été comparés à ceux qui avaient été obtenus deux jours et quatre jours avant l'ascension à la même heure et dans des conditions analogues.

Dans une seconde ascension que nous avons faite en compagnie des Drs Crouzon et Le Play, la tension artérielle a été prise sur chacun de nous à terre et à l'altitude de 1.100 mètres, niveau bien inférieur à celui auquel l'examen avait été effectué pendant notre premier voyage en ballon.

Observation X.

Mesure de la pression artérielle à terre et à 3.200 mètres.

Notre pression artérielle avait été prise le 28 juillet et le 31 juillet. Le jour de l'ascension elle est mesurée de nouveau à terre, dans le parc de l'Aéro-Club, et à 3.200 mètres, au bout de deux heures et demie de voyage. La température est à ce moment de 2 degrés, soit un écart de 16 degrés avec la température du départ.

Voici les chiffres que nous avons obtenus avec le sphygmomanomètre, sur la radiale du bras gauche :

28 juillet	16.5 (bras gauche)
31 juillet	17
1er août : A terre, au départ	17,5
A 3.200 mètres	18,5
2 août	16,5

Nous avons donc constaté une augmentation d'un degré pendant l'ascension, à 3.000 mètres. Il faut remarquer que nous venions de travailler pendant une demi-heure dans la nacelle et que nous avions au moment de la mesure, une sensation de fatigue bien nette, et à laquelle s'ajoutait de la congestion de la face. Nous subissions donc les effets de l'altitude.

Observation XI.

Mesure de la pression artérielle à 1.100 mètres, en ballon.

Dans une seconde ascension, le 8 septembre 1907, nous avons recherché, ainsi que les Drs Crouzon et Le Play, les variations de la pression artérielle à terre et à 1.100 mètres d'altitude, après trois heures de voyage. Les mesures ont été prises avec le sphygmomanomètre.

Sujet A (radiale gauche). A terre	20
A 1.100 mètres	18

Soit une diminution de deux degrés.

Sujet B (radiale gauche). A terre	20
A 1.100 mètres	18

La diminution est de deux degrés.

Sujet C (radiale droite). A terre	22
A 1.100 mètres	22

Les chiffres obtenus sont égaux.

En résumé, les renseignements fournis par la mesure de la pression artérielle sont très variables. Suivant les auteurs, les chiffres réalisés diffèrent complètement, et nous avons obtenu,

nous-même, dans deux ascensions, des résultats opposés. Nous pensons, en conséquence, qu'à côté de la pression barométrique, on doit faire intervenir, en ballon, une série d'autres facteurs, et, parmi eux, les phénomènes périphériques dont l'influence est très sensible, parfois même prépondérante.

CHAPITRE III

LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES PENDANT LES ASCENSIONS EN BALLON

La masse gazeuse qui entoure la terre sur une épaisseur de 60 à 80 kilomètres, constitue l'atmosphère.Torricelli et Pascal ont montré qu'au niveau de la mer la pression atmosphérique équivalait au poids d'une colonne de mercure de 760 millimètres de hauteur. Le corps de l'homme supporte donc une pression de 20,000 kilogrammes environ. Mais comme elle est également répartie, elle s'équilibre avec celle du sang et du gaz.

La pression barométrique varie d'un centimètre par 105 mètres d'altitude. Pour Jourdanet, le baromètre indique 59 centimètres à 2.016 d'élévation verticale, 55 à 2.575 mètres, 52 à 3.022 mètres, 49 à 3.495 mètres, 46 à 3.998 mètres, 40 à 5.111 mètres, 36 à 5.950 mètres, 31 à 7.141 mètres, 24.8 à 8.840 mètres. L'air est donc d'autant plus léger que le niveau est moins bas. Mais sa composition demeure sensiblement la même.

Les travaux de Scheele, Priestley et Lavoisier ont montré que l'air contenait deux gaz principaux : l'oxygène et l'azote. Au point de vue de l'organisme, l'oxygène est l'agent le plus actif. C'est à son introduction dans le corps qu'est destinée la respiration. Sa proportion moyenne dans l'atmosphère est de 20.9 contre 79.1 d'azote, pour 100 volumes.

La proportion d'oxygène n'est pas absolument constante. On a

observé assez souvent, aux grandes hauteurs, une légère diminution du rapport de l'oxygène à l'azote. Dumas et Boussingault obtenaient une moyenne de 20.864 d'oxygène à Paris, pour 20.774 au Faulhorn. Allen-Miller constatait, en août 1852, 20.88 d'oxygène dans l'air rapporté par un ballon qui s'était élevé à 18,000 pieds, tandis qu'à terre, l'air en contenait 20,92. Au sommet du Mont-Blanc, Saussure trouve par contre 20.963 d'oxygène et 0.061 d'acide carbonique ; à Chamonix, le chiffre n'est plus que de 20.894 d'oxygène et de 0.63 d'acide carbonique.

Mais les chiffres les plus intéressants sont ceux de la quantité absolue de l'oxygène dans l'air. Or, à 2.000 mètres d'altitude, elle ne représente plus, pour un volume, que les trois quarts, et, à 5.000 mètres, que la moitié seulement de ce que l'air contenait au niveau de la mer.

L'azote dont la proportion moyenne est de 79,1 pour 100 volumes d'air, a comme principale fonction de diluer l'oxygène qui, s'il était pur, constituerait un véritable poison. Il n'est pas directement assimilable par les êtres vivants, quoiqu'il intervienne pour une large part dans leur constitution. On sait aujourd'hui que les 79 volumes, 1 d'azote de l'atmosphère contiennent 0 volume 941 d'argon. Ramsay a découvert la présence d'autres gaz, le néon, le crypton, le métargon ; leur quantité est extrêmement faible.

L'acide carbonique de l'air provient des combustions organiques et inorganiques opérées à la surface de la terre. Il est absorbé à son tour par le sol, les végétaux, les carbonates de l'eau de mer. Les proportions de l'acide carbonique dans l'air sont sujettes à des oscillations importantes. En ce qui concerne l'altitude, les expérimentateurs ne s'accordent pas.G. Tissandier a trouvé, en mars 1875, 2.4 d'acide carbonique pour 10.000 à 890 mètres de hauteur et 3 pour 10.000 à 1.000 mètres. La

quantité de ce gaz augmenterait donc avec l'altitude. Au contraire, en 1873, Truchot avait donné les chiffres suivants :

Hauteur	Température	Pression	10^2 pour 10.000 vol. d'air
359 mètres . . .	25° centigrades	0m.725	3.13
1446	21°	0.638	2.03
1884	6°	0.570	1.72

Ce qui indiquerait une proportion décroissante.

Il faut tenir compte de certains facteurs qui influent sur la teneur en acide carbonique. La luminosité, la sécheresse la font diminuer. Peut-être faut-il expliquer par ces faits la différence des résultats.

De nombreux auteurs pensent que l'acide carbonique n'a pas de propriétés toxiques. Cependant A. Gautier et Morelle croient que son accumulation dans l'air fait sur la muqueuse respiratoire l'effet d'un vernis. Pour Hirt, il a une action narcotique. Paul Bert a indiqué son rôle d'anesthésique. Enfin, l'acide carbonique entrave les échanges gazeux respiratoires et le poumon rend d'autant moins d'acide carbonique qu'il y en plus dans l'air respiré. Il sera donc important de déterminer la teneur en acide carbonique de l'air alvéolaire pendant les ascensions aériennes. Sa présence plus ou moins grande suggérera à certains auteurs la théorie de l'acapnie pour expliquer le mal en ballon.

Il existe enfin dans l'atmosphère, à l'état normal, de la vapeur d'eau, soulevée par l'action du soleil, et mêlée seulement à l'air qui ne saurait l'absorber. Les oscillations de l'humidité de l'air sont très considérables. On observe, surtout en ballon, des modifications énormes qui vont de la suturation complète, au passage à travers un nuage, jusqu'à une sécheresse presque absolue. En règle générale, on enregistre souvent, avec l'altitude, un degré hygrométrique supérieur. Il est à Davos de 85 pour 100 en

moyenne,quoique la quantité absolue de vapeur d'eau soit faible : 2 grammes 428 par mètre cube d'air, au lieu de 6 grammes 510 à Pise (Vacher). L'air y est très pur, et, dans le milieu du jour, les rayons y arrivent directement. Les aéronautes constatent fréquemment un état hygrométrique analogue.

Le volume moyen d'air ainsi composé, et pénétrant dans les poumons à chaque inspiration, est de 500 centimètres cubes chez un adulte sain, de taille moyenne et placé dans des conditions normales. Mais ces 500 centimètres cubes ne représentent pas la totalité de l'air des poumons. Pendant une inspiration forcée, on en fait pénétrer dans les bronches une quantité bien supérieure. Il y a dans le poumon plusieurs catégories d'air : l'air courant, celui de chaque inspiration ; l'air en excès du volume d'une inspiration normale, ou air complémentaire ; l'air de réserve pouvant être chassé du poumon pendant une inspiration forcée ; enfin l'air résidual qui persiste toujours dans le poumon, quelle que soit l'expiration. L'ensemble constitue la capacité totale ou respiratoire.

Les échanges respiratoires sont fonction de la tension des gaz contenus dans les alvéoles pulmonaires. Lorsqu'on s'élève en ballon, cette tension diminue, et la capacité respiratoire correspond à un volume analogue, mais à une quantité absolue bien inférieure. L'oxygène devient rare et sa diminution entraîne, si l'on s'élève encore, des accidents d'asphyxie. Nous avons vu, en étudiant les gaz du sang, que Paul Bert avait découvert l'action de l'oxygène aux grandes altitudes, et la possibilité de remplacer l'oxygène manquant par de l'oxygène pur, la pression totale demeurant abaissée, mais le rapport entre l'oxygène et l'azote se trouvant ainsi modifié. Un phénomène contraire, et qui permet de vérifier la théorie précédente, s'observe lorsque la pression

barométrique est augmentée. Les ouvriers qui travaillent dans un caisson pneumatique, les scaphandriers, respirent un air dont la tension est très supérieure à la normale. Lorsque celle-ci atteint 3 atmosphères 1/2 pour l'oxygène pur, il se produit chez ces ouvriers des convulsions suivies rapidement de mort. L'oxygène a agi ici comme un poison. La présence d'une quantité moyenne d'oxygène est donc indispensable à la vie. Nous allons examiner quelles sont, pendant les ascensions aéronautiques, les modifications de l'air contenu dans les poumons, et nous rechercherons ensuite les conséquences de ces variations.

Lorsqu'on soumet à l'action de la dépression atmosphérique un animal placé sous la cloche d'une machine pneumatique, on constate, au bout d'un certain temps, une modification de la respiration. Celle-ci devient fréquente, pénible ; l'accélération augmente souvent à mesure que l'air est plus rare. L'animal présente enfin les symptômes de l'asphyxie et meurt. Ce sont les mêmes accidents que l'on retrouve dans les ascensions en ballon à de très grandes hauteurs, quand les aéronautes ne se servent pas d'oxygène. La diminution de l'oxygène de l'air détermine donc une accélération des mouvements respiratoires. Cette accélération est-elle liée à leur amplitude, et ces variations de rythme, si elles sont vérifiées toutes deux, suffisent-elles à compenser pendant un temps plus ou moins long la moindre tension de l'atmosphère ? Nous allons examiner, pour répondre à cette question, les résultats obtenus à la suite d'expériences en ballon.

Lors des premières ascensions scientifiques organisées en 1901, sous le patronage de l'Aéro-Club de France, Hallion et Tissot s'étaient proposé de rechercher expérimentalement l'influence des variations rapides d'altitude sur les phénomènes chimiques et physiques de la respiration à l'état de repos. Pendant leur

voyage dans le ballon *Eros*, les auteurs effectuent deux expériences pour déterminer les coefficients respiratoires aux diverses altitudes. Ils utilisent dans ce but des sacs en caoutchouc, et ils y enferment la totalité de l'air expiré à différents moments de leur ascension. L'air est recueilli d'abord dans une vessie grâce à l'appareil nasal de Chauveau. Un échantillon est déposé aussitôt sur le mercure, puis on transvase le reste du gaz dans un sac. La température et la pression sont notées, et, à la descente, on mesure le contenu des sacs à cette température et sous la même pression. Les expérimentateurs sont tous les deux à jeun, n'ayant absorbé depuis la veille, à sept heures du soir, qu'une tasse de café sans sucre qu'ils avaient bue à terre, avant le départ, à sept heures du matin.

Hallion et Tissot appellent débit respiratoire réel le volume de l'air expiré pendant une minute et mesuré à la température de 0°, la pression étant de 760 millimètres de mercure ; ils désignent sous le nom de débit apparent ce même volume mesuré à la pression barométrique et à la température constatées au moment où l'air avait été emmagasiné.

Voici les chiffres obtenus dans ces expériences :

Ce tableau indique très exactement les modifications qui s'effectuent de 0 à 3.500 mètres d'altitude, les sujets étant au repos. Il suggère à Hallion et Tissot les conclusions suivantes :

« 1° La quantité absolue d'air qui entre dans le poumon par minute, mesuré à la température de 0° et la pression de 760 millimètres de Hg (débit respiratoire réel), diminue considérablement quand l'altitude s'accroît.

« 2° Les altérations de l'air expiré augmentent à mesure que l'altitude s'accroît : la proportion d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé pour 100 dans l'air expiré s'accroît à mesure qu'on s'élève. Ce fait indique que le sang prend toujours dans l'air à

	TEMPS	ALTITUDE	INTENSITÉ ABSOLUE DES ÉCHANGES		INTENSITÉ RELATIVE DES ÉCHANGES d'après	DÉBIT RESPIRATOIRE	COMPOSITION DE L'AIR expiré pour 100		DÉBIT RESPIRATOIRE	QUOTIENT RESPIRATOIRE	PRESSION BAROMÉTRIQUE	TEMPÉRATURE
			CO^2 exhalé	O^2 absorbé	$CO^2 + O^2$	RÉEL	CO^2 exhalé	O^2 absorbé	APPARENT			
TISSOT	11.30	Départ du sol	307 cc.	337 cc.	1	9 l. 485	3 cc. 24	3 cc. 52	10 l. 140	0.92	0 760 m/m	+ 9°
	12.5	1.350 mètres	329	381	1.1	7 l. 907	4 cc. 16	4 cc. 81	10 l. 830	0.86	0.638 —	+ 4°
	1.17	2.600 —	276	313	0.915	5 l. 787	4 cc. 77	5 cc. 4	8 l. 000	0.88	0.546 —	0°
	2.6	3.450 —	298	350	1	5 l. 675	5 cc. 26	6 cc. 16	8 l. 600	0.85	0.493 —	— 2°
	3.15	Sol (descente .	328	367	1.08	10 l. 113	3 cc. 24	3 cc. 63	10 l. 805	0.89	0.760 —	+ 8°
HALLION	11.35	Sol.....	290	311	1	8 l. 633	3 cc. 36	3 cc. 6	9 l. 225	0.93	0.760 —	+ 9°
	12.25	1.700 mètres	260	288	0.91	6 l. 947	3 cc. 73	4 cc. 13	8 l. 679	0.90	0.611 —	+ 3°
	2.25	3.500 —	272	243	1.02	5 l. 680	5 cc. 12	6 cc. 46	8 l. 740	0.72	0.490 —	—

peu près la même quantité d'oxygène par minute, mais que, le trouvant à une tension de plus en plus faible, il doit, pour maintenir constante la quantité nécessaire, en prendre une quantité de plus en plus forte pour 100 centimètres cubes d'air ; la colonne d'intensité absolue des échanges par minute montre l'égalité sensible de cette intensité à toutes les altitudes et prouve ce fait. Ainsi se rétablit l'équilibre que l'on pourrait croire rompu par l'examen du débit respiratoire réel.

« 3° L'intensité absolue des échanges respiratoires mesurés pendant une minute reste la même à toutes les altitudes (jusqu'à 3.500 mètres au moins). Ce fait résulte des deux propositions précédentes.

« 4° Le débit respiratoire apparent, c'est-à-dire mesuré à la pression barométriqne et à la température du milieu dans lequel le sujet respire, varie peu ou a tendance à diminuer dans les deux expériences quand l'altitude s'accroît. Il est certain qu'il n'augmente pas.

« 5° La colonne de quotient respiratoire montre que ce quotient a varié en sens inverse de la marche qu'il aurait dû suivre si l'acide carbonique exhalé obéissait aux lois de la dissolution des gaz. Donc, jusqu'à 3.500 mètres d'altitude, l'exhalaison d'acide carbonique par le poumon n'est pas influencée par les variations de la pression.

« Ce fait est confirmé par l'analyse du gaz. »

Il est intéressant de rappeler ici les conclusions d'Hallion et Tissot concernant la teneur en gaz du sang. Jusqu'à 3.500 mètres l'oxygène et l'acide carbonique contenus dans le sang échappent aux lois de la dissolution des gaz. Seul l'azote dissous diminue régulièrement avec l'altitude. Pour l'oxygène et l'acide carbonique, leur quantité totale augmente dans le sang avec l'altitude. Ces travaux montrent que, jusqu'à 3.500 mètres au moins, l'or-

ganisme lutte contre la diminution de pression, partant contre le moindre apport d'oxygène, par une meilleure utilisation du gaz qui lui est fourni. Il n'y a donc à invoquer à cette altitude ni l'accélération des mouvements respiratoires ni leur amplitude pour expliquer ces phénomènes. On peut comparer les aéronautes, à 3.500 mètres, aux habitants des hautes régions de l'Amérique du Sud. On ne signale chez eux ni accélération du rythme de la respiration ni distension de la cage thoracique supérieure à la normale. Les habitants des plaines ne modifient pas non plus le nombre et le volume de leurs inspirations lorsqu'ils se rendent sur les hauteurs. Il n'y a, chez eux, comme chez les aéronautes, qu'un emploi plus complet de l'air inspiré ; l'accommodation s'effectue très rapidement, quelque rapide que soit la montée du ballon, et aucun trouble n'apparaît du fait de ce brusque changement dans l'équilibre du corps.

Remarquons d'ailleurs que le champ des investigations d'Hallion et Tissot est limité à 3.500 mètres ; jusqu'à cette hauteur, la quantité absolue d'oxygène contenue dans l'air est encore élevée : c'est seulement à 5.000 mètres que la proportion d'oxygène n'est que la moitié de celle existant au niveau de la mer, pour un même volume. L'accommodation est donc encore facile et la teneur en oxygène des alvéoles pulmonaires dépasse suffisamment la quantité de ce gaz nécessaire à la nutrition. Mais quand la pression diminue encore, la tension d'oxygène devient très faible, et la compensation ne se fait plus également.

Ces expériences permettent seulement de conclure à l'absence de troubles physiologiques jusqu'à 4.000 mètres : il est inutile, lorsqu'on ne dépasse pas cette altitude, de respirer de l'oxygène pur. D'ailleurs les aéronautes qui sont montés à de très grandes hauteurs ont signalé ce fait. Dans le concours d'altitude de 1900,

M. de la Vaulx note qu'à 4.000 mètres il commence à respirer de l'oxygène bien qu'il n'en ait encore aucun besoin.

Nous comparerons les résultats des expériences en ballon à ceux que l'on a obtenus sur les hautes montagnes ou pendant une ascension fatigante. Vallot indique en 1903, à l'Académie des Sciences, les modifications que subit la respiration par suite de l'ascension et de l'acclimatement à l'altitude du Mont-Blanc. Il a examiné des sujets menant la vie active ordinaire et il a recueilli 123 autodéterminations complètes des éléments physiques de la respiration et 21 effectuées sur un de ses compagnons. Le matériel des expériences comprenait un compteur à gaz et une valvule de Muller. Les inspirations se faisaient par la bouche. Chaque expérience durait 15 minutes précédées d'un repos pendant un temps au moins égal.

Vallot a constaté chaque fois une variation diurne considérable, du volume d'air inspiré ; cette variation, étroitement liée au repos, pouvait atteindre habituellement le quart du volume total. Après chaque repos, il enregistrait une brusque augmentation suivie d'une diminution égale, mais plus lente dans sa production.

A la suite des ascensions, le volume d'air inspiré était très modifié. Vallot notait à la fois l'augmentation des inspirations et leur amplitude supérieure. Sur lui-même, il a reconnu, pendant la première semaine, un nombre d'inspirations augmenté, mais avec une amplitude demeurée égale. Dans la deuxième semaine il y avait au contraire un chiffre d'inspiration stationnaire, mais un développement de chacune d'elles.

Après deux journées d'ascension il se produisait, le premier jour, une augmentation de 15 pour 100 d'inspirations, puis, les deux jours suivants, une petite diminution de 7 pour 100. Ce ralentissement des inspirations, que ne compensait pas encore l'amplitude supérieure de chacune d'elles, amenait l'apparition du mal

des montagnes. Celui-ci cessait d'ailleurs le troisième jour, quand augmentait le volume de l'air inspiré. Cette augmentation continuait régulièrement jusqu'à la fin du séjour, et atteignait 30 pour 100 dès la fin de la seconde semaine.

D'autre part, à cette altitude, la densité de l'air était inférieure de 33 pour 100 à celle du niveau de la mer : la quantité absolue, obtenue en ramenant les chiffres à 0° et à la pression de 760 millimètres de Hg, s'abaissait de 23 pour 100 le premier jour, malgré le plus grand nombre d'inspirations ; elle atteignait 29 pour 100 les jours suivants, puis se modifiait ensuite, et la différence avec la normale n'était plus que de 14 pour 100 le quinzième jour. Ainsi se réalisait, peu à peu, l'acclimatement que les expérimentateurs constatèrent après compensation d'un chiffre supérieur d'une moitié, à celui de 33 pour 100 perdu en arrivant.

Les expériences montrent clairement la différence considérable existant entre l'ascension en ballon et l'escalade d'une montagne. Dans le premier cas, la montée est très rapide et se produit sans fatigue. Dans le second cas, il faut tenir compte d'abord du grand effort musculaire nécessaire pour dépasser l'altitude de 4.000 mètres, d'où l'accélération des inspirations au début, puis de la vie active que menaient les expérimentateurs pendant les journées suivantes. L'intérêt de ce fait s'accroît lorsqu'on songe à la production si tardive du mal en ballon, en regard du mal des montagnes que Vallot déclare avoir ressenti après son arrivée.

Cet écart, déjà considérable, entre les phénomènes respiratoires observés en ballon et dans une station d'altitude, s'agrandit encore lorsqu'on oppose aux observations précédentes, les résultats d'une montée rapide à pied. Hénocque a communiqué à la Société de Biologie une note sur les effets physiologiques de l'ascension à la tour Eiffel. Il a remarqué dans les montées à pied la diminution de l'activité des échanges dans le cas d'essouffle-

ment, de surmenage dû à un effort trop rapide, tandis que cette activité devrait régulièrement augmenter avec l'altitude, ce qui se produisait d'ailleurs dans les montées par les ascenseurs. Cette fatigue était contrôlée par le sphygmomanomètre qui indiquait, de 1 centimètre à 2 centimètres 5 de plus qu'au départ.

Enfin, pour vérifier les chiffres obtenus pendant son ascension en ballon, Tissot recherche au laboratoire, l'action de la décompression sur les échanges respiratoires de l'homme, et vérifie ainsi l'exactitude de ses premiers résultats.

L'appareil employé par Tissot se compose d'une solide caisse de tôle, carrée, d'une contenance d'environ 15 mètres cubes, et renforcée par une forte armature de fer. A l'intérieur de l'appareil deux personnes peuvent s'asseoir et demeurer plusieurs heures avec toute la commodité possible, en effectuant les expériences les plus délicates. Dans la caisse est placée également une table.

En dehors de cette caisse dans laquelle on diminuera la pression atmosphérique, se trouve la pompe à faire le vide, communiquant avec l'intérieur de l'appareil par un tuyau en fer de 20 millimètres de diamètre intérieur. Cette pompe est actionnée par un moteur à vapeur installé dans une pièce voisine.

Tissot s'assure, par quelques essais, du bon fonctionnement de l'appareil ; il commence ensuite à réaliser son programme d'expériences divisées en deux groupes. L'auteur cherche d'abord quel est l'effet de la décompression sur les échanges respiratoires de l'homme. Il compare ensuite le rendement du travail musculaire exécuté dans l'atmosphère normale et avec une pression inférieure.

Après s'être introduit dans l'appareil, Tissot fait actionner la pompe à faire le vide qui donne une décompression progressive dont la limite minima est de 280 millimètres de mercure, représentant l'altitude de 3,500 mètres. Avant d'entrer dans cette

caisse, l'expérimentateur avait déterminé son coefficient respiratoire au repos, en utilisant la technique habituelle qui donne des résultats très précis. Pendant la décompression, il mesure de nouveau son coefficient respiratoire à diverses reprises. Chaque fois, l'air recueilli pendant une minute est renfermé dans un sac en caoutchouc, après qu'un échantillon destiné à l'analyse a été placé dans un tube à mercure. L'examen du contenu des sacs est fait ensuite à la température et à la pression extérieures. Il est tenu compte, en outre, des impuretés de l'air confiné de l'appareil, le sujet y étant demeuré plusieurs heures.

Après avoir obtenu la décompression, en deux heures trente minutes, Tissot fait entrer progressivement l'air, en ouvrant un robinet placé dans la caisse, pour éviter les accidents dus à la décompression brusque. Cette seconde partie de l'expérience dure 30 minutes environ. Il est procédé ensuite à une nouvelle détermination du quotient respiratoire.

Cette première série d'expériences donne à Tissot les résultats suivants :

« 1° La décompression ne diminue pas la valeur du coefficient respiratoire du sujet au repos ; l'intensité absolue des échanges respiratoires reste sensiblement la même, quelle que soit la pression extérieure, jusqu'à une décompression de 28 centimètres de Hg ; cette conclusion est conforme à celle des expériences de Lœvy qu'elle confirme ;

2° Le débit respiratoire réel, c'est-à-dire la quantité d'air mesurée à 0 degré et 760 millimètres qui entre dans le poumon, diminue comme la pression et suit une courbe analogue à celle de la variation de pression.

« 3° Le débit respiratoire apparent (volume d'air expiré à la pression et à la température actuelles) n'augmente pas. Il ne

présente comme variations que celles que l'on retrouve habituellement chez tous les sujets.

« 4° Comme le débit apparent ne varie pas et que la pression diminue, la tension de l'oxygène diminue progressivement dans l'air inspiré. L'augmentation progressive des altérations de l'air expiré à mesure que la pression diminue, jointe à la fixité du débit respiratoire apparent, montre que cette diminution de tension n'a aucun effet sur la valeur absolue des échanges. Le sang a encore plus d'oxygène qu'il ne lui en faut.

« 5° La quantité totale de l'acide carbonique exhalé varie peu ou pas et montre que cette exhalation n'obéit pas aux lois de la réduction des gaz. »

TEMPS		Pression barométrique	Intensité absolue des échanges respiratoires		Intensité relative des échanges d'après CO^2+O^2	Débit respiratoire réel	Composition de l'air expiré par 100 cm³		Débit respiratoire apparent	Quotient respiratoire
			CO^2 exhalé	O^2 absorbé			CO^2	O^2		
		millm.	c. c.	c. c.		l.			l.	
8 h. 10	Repos.	750	174	185	1.0	10 270	1.87	1 98	10.270	0.94
8 h. 10	Travail.	750	427	431	2.4	18.414	2.56	2.58	18.414	0.99
8 h. 53	Entrée dans l'appareil et début de la dépression.									
9 h. 35	Repos.	655	208	250	1.27	7.783	2.94	3.53	8.912	0.83
9 h. 57	Repos.	580	200	337	1.21	5.865	3.75	4.44	7.580	0.84
10 h. 27	Repos	530	168	199	1.02	5 326	3 47	4.11	7.530	0.84
10 h. 45	Travail.	500	456	469	2.57	13 782	3.64	3.74	20.673	0.93
11 h. 10	Repos.	485	185	224	1.11	4.893	4.16	5 04	7.565	0.83
12 h. 15	Repos.	750	180	229	1.11	7.433	2.66	3.39	7.433	0.79

Il y a identité entre ces conclusions et celles que Tissot avait déjà émises à la suite de son ascension en ballon. Remarquons d'ailleurs que, au laboratoire comme en ballon, l'auteur n'a pas dépassé une dépression correspondant à 3.500 mètres. Le tableau précédent résume la première série des expériences de Tissot. Il s'y

joint en outre deux groupes de chiffres correspondant à deux périodes de travail effectuées avant et pendant la dépression, et qui se rapportent à la seconde partie des recherches.

Les expériences relatives à l'action de la décompression sur les échanges respiratoires de l'homme se complètent par l'examen de cette même action sur les échanges respiratoires pendant le travail musculaire. Le travail effectué consiste dans une contraction rythmée et énergique du biceps brachial, en tirant quarante fois par minute sur la poignée d'un ressort très dur fixé au sol. Le travail est pénible et produit bientôt la fatigue, l'épuisement même du muscle, à la pression normale de 760 millimètres. Au bout de cette minute, le coefficient respiratoire est mesuré.

L'expérience a été faite sur deux sujets. Les résultats en sont identiques. Ils figurent, pour le premier de ces deux sujets, sur le tableau ci-dessus. Un autre tableau va donner les chiffres réalisés par le second sujet :

	Pression normale Débit respiratoire à la pression normale	DÉPRESSION		EXCÈS DE DÉPENSE DU AU TRAVAIL			
		Débit apparent sous dépression de 28 c. de Hg	Débit réel	à la pression normale		sous dépression de 28 cent. de Hg	
				CO^2	O^2	CO^2	O^2
Repos. . .	10 l. 175	7 l. 860	5 l. 030	»	»	»	»
Travail . .	15 l. 007	19 l. 780	12 l. 920	192	245	257	246

Les deux tableaux peuvent donc se rapprocher, dans tout ce qui concerne l'effort musculaire. L'opposition du coefficient respiratoire à l'état de repos et à la suite d'un travail pénible, permet à Tissot de conclure ainsi qu'il suit :

« 1° L'intensité absolue des échanges respiratoires, qui était de

2. 40 à la pression normale était de 2. 57 pendant le travail sans dépression. Elle n'a donc pas varié.

« 2° Le travail a nécessité un excès de dépense identique dans les deux cas : à la pression normale, il a nécessité un excès d'absorption d'oxygène de 246 centimètres cubes, et un excès de 257 centimètres cubes sous une dépression de 28 centimètres de Hg. Il en est de même pour les chiffres d'acide carbonique exhalé. On ne peut pas trouver une identité de dépense plus complète dans les expériences de ce genre.

« 3° Le débit respiratoire apparent paraît avoir légèrement augmenté pendant le travail sous dépression (20 litres 675 sous dépression pour 18 litres 414 à la pression normale). Mais il y a surtout un écart bien plus considérable entre le débit respiratoire au repos et le débit pendant le travail qui suit immédiatement, lorsque le sujet est en décompression. Cette différence, qui est de 8 litres 144 à la pression normale est de 13 litres 143 sous dépression. Il y a une différence encore plus accentuée dans l'expérience du second sujet. »

Il faut remarquer que le débit respiratoire pendant le travail sous dépression, ne correspond pas à une augmentation simultanée des impuretés de l'air. Cet air expiré au repos, sous dépression, aurait dû contenir 4 à 5 centimètres cubes d'oxygène en moins pour 100 centimètres cubes ; or il ne s'en trouvait que 3,73 en moins. L'air expiré pendant le travail était moins altéré que l'air expiré pendant le repos. Ainsi s'explique ce fait, qui peut sembler étrange, qu'à la dépression de 28 centimètres cubes, tout au moins, le travail musculaire, bien loin d'être une cause de malaise, empêche celui-ci de se produire et fait même disparaître les légers symptômes ressentis à ce moment. Lœwy qui avait constaté ce fait sans en donner d'explications, remarquait qu'il pouvait placer ses sujets sous une atmosphère bien moins

dense quand ceux-ci travaillaient. Tissot déclare d'ailleurs qu'il n'a opéré que jusqu'à une dépression correspondant à 4.000 mètres et qu'il peut ne pas en être ainsi à une altitude supérieure.

De son côté Aggazzotti, dans ses recherches sur la composition de l'air des alvéoles pulmonaires à la pression normale et dans l'air raréfié, indique qu'au delà d'une dépression de 456 millimètres de Hg, il y a une diminution de l'oxygène et de l'acide carbonique en proportions inégales, l'acide carbonique disparaissant plus lentement. L'air des alvéoles contient, à Turin, 4 à 5.5 pour 100 d'acide carbonique ; on en retrouve 7 à 9 pour 100 au Mont Rosa. Sa proportion est donc augmentée par rapport à l'oxygène. Mais, si cet air des alvéoles renferme plus d'acide carbonique, le sang artériel en a moins par suite de la dépression ; il en résulte que l'échange des gaz ne s'accomplit plus suivant les lois admises et le contenu gazeux du sang n'est plus en rapport avec la composition chimique de l'air des alvéoles.

Lorsque l'on revient à une pression de 760 millimètres, la quantité d'acide carbonique dans l'air des alvéoles est moindre que normalement. Aggazzotti explique ce fait en disant que, pendant le séjour dans l'air raréfié, le sang avait éliminé de l'acide carbonique avec excès. Il doit donc en absorber à nouveau pour rétablir son équilibre gazeux.

Enfin, pendant la raréfaction, la tension partielle de l'acide carbonique dans l'air de réserve est toujours inférieure à la normale, alors même que son élimination atteint le maximum. La tension partielle de l'oxygène diminue à mesure que la raréfaction augmente, et cet abaissement est surtout rapide entre 650 et 450 millimètres, parce que, à ce moment, il y a une consommation plus grande d'oxygène.

Ces faits qui s'écartent par certains points des théories que nous avons indiquées précédemment, se rapportent à la notion

de l'acapnie que nous étudierons à l'occasion du mal en ballon.

Dans une station d'altitude, Raoul Bayeux recherche l'activité des combustions organiques. En même temps que la température du corps est abaissée, l'activité des échanges se modifie parallèlement, augmentant ou diminuant en raison inverse de l'altitude. La concordance de ces deux phénomènes biologiques suggère à l'auteur cette loi, que les combustions organiques diminuent à mesure que l'altitude augmente.

Pour obtenir ces résultats, Raoul Bayeux s'était servi de la méthode d'Hévocque qui, lui-même, était arrivé à des conclusions opposées. Lapicque montre que les indications fournies en employant cette méthode, sont surtout en relation avec des phénomènes vasomoteurs périphériques. L'activité de réduction est influencée bien moins par les variations de tension de l'oxygène que par la température extérieure, dont Raoul Bayeux ne tient pas compte.

Nous n'avions considéré jusqu'ici que des dépressions correspondant à l'altitude de 4.000 mètres au maximum. Tissot recherche si la respiration dans une atmosphère dont l'oxygène est considérablement raréfié, est accompagnée de modifications intraorganiques évaluées d'après les échanges respiratoires. Jusqu'à 4.500 mètres, ces combustions restent invariables. Il faut une dépression beaucoup plus considérable pour les modifier. D'après l'auteur, il n'y a modification dans les mouvements respiratoires qu'à partir du moment où la proportion d'oxygène dans l'air respiré tombe au-dessous de 11 pour 100, ce qui se produit quand l'altitude atteint 5.000 mètres. Pour les combustions intraorganiques que l'on mesure par la quantité d'oxygène absorbé, elles ne sont pas influencées par des variations considérables dans la proportion d'oxygène de l'air inspiré. Il ne se produit de variations, d'ailleurs très faibles, que lorsque l'on

arrive à l'altitude de 6.500 mètres. A ce moment, le développement de la ventilation pulmonaire modifie la proportion d'oxygène dans l'air inspiré.

Jusqu'à l'altitude de 5.000 mètres, la quantité d'acide carbonique exhalée reste invariable. Quand l'altitude s'élève encore, il y a augmentation dans la quantité d'acide carbonique exhalé : ce fait est dû, comme pour l'oxygène, au développement de la ventilation pulmonaire.

Enfin, au-dessus de 5.000 mètres, correspondant à une proportion d'oxygène inférieure à 11 pour 100 dans l'air inspiré, le quotient respiratoire s'accroît pour les mêmes motifs de ventilation pulmonaire. Mais si cette ventilation exerce une faible action sur l'oxygène, elle a beaucoup plus d'influence sur l'acide carbonique qui s'exhale et que l'on retrouve notablement augmenté.

On peut rapprocher ces faits de ceux étudiés par Aggazzotti. Mais, pour ce dernier auteur, les variations de l'oxygène et de l'acide carbonique se produisent à une altitude beaucoup plus basse que ne l'indique Tissot.

Nous résumerons cette question de la respiration pendant les ascensions aériennes, en disant que, jusqu'à une altitude supérieure à 4.000 mètres, l'organisme se défend facilement contre la faible tension de l'oxygène dans l'air ambiant, en utilisant mieux cet oxygène et en en absorbant une plus grande proportion par les capillaires pulmonaires ; le coefficient respiratoire reste donc sensiblement le même. En conséquence, la quantité d'acide carbonique exhalé demeure invariable.

A une altitude plus élevée, la ventilation pulmonaire intervient par son développement, pour lutter à son tour contre la diminution de la quantité absolue d'oxygène dans les alvéoles. Cette

ventilation pulmonaire s'accroît à une altitude beaucoup plus basse, lorsqu'on gravit une montagne.

Enfin, quand la ventilation pulmonaire ne suffit plus à procurer au sang la quantité d'oxygène nécessaire, la gêne éprouvée devient plus considérable. et peut aller jusqu'à l'asphyxie, si l'aéronaute n'a pas commencé, en temps opportun, à respirer de l'oxygène pur. Nous étudierons ce dernier mode de traitement à propos du mal en ballon.

CHAPITRE IV

LA FORCE MUSCULAIRE

Nous avons signalé, au chapitre de la respiration, les variations des échanges respiratoires dans l'air raréfié pendant le travail musculaire. Nous avons dit que le travail nécessitait alors un excès de dépense égal à celui qu'il réclame en temps normal, mais plus difficile à compenser en raison de la faible tension de l'air contenu dans les alvéoles, et de l'obligation pour le sang d'utiliser plus complètement l'oxygène. Aussi le travail musculaire produit-il une fatigue rapide, analogue à celle que l'on constate pendant les escalades de montagnes.

Les aéronautes connaissent bien cette sensation de torpeur que l'on ressent en ballon aux grandes altitudes, et qui rend pénible le moindre effort. Les phénomènes de vaso-constriction céphalique aggravent encore la gêne produite par les mouvements de flexion. Le fait de se pencher pour prendre du lest suffit parfois à déterminer une syncope. Mais, en dehors de ces symptômes liés aux modifications de la circulation sanguine, il survient, durant les ascensions en ballon, une réelle diminution de l'énergie musculaire qui augmente avec la hauteur et qui peut aller jusqu'à l'impotence fonctionnelle complète.

On sait comme il est difficile, en ballon, de soulever un sac de lest, et combien la manœuvre de la cuiller à sable devient fatigante au bout d'un temps plus ou moins long, suivant l'alti-

tude à laquelle on se trouve. La constatation de ces phénomènes a suggéré à M. Georges Bans la théorie de l'économie de l'effort: il est important, en ballon, de grouper les instruments pour que l aéronaute, assis, puisse les avoir tous devant les yeux, sans se déplacer et surtout sans baisser la tête.

Les phénomènes ressentis par les aéronautes sont donc identiques à ceux que l'on rencontre pendant les ascensions de montagnes. Kronecker étudiant la pathogénie du mal des montagnes fait transporter de Zermatt au Breithorn (3.750 mètres) des personnes qui n'ayant pas eu à faire le moindre effort musculaire pendant le voyage, n'en éprouvent pas moins, à l'arrivée, une grande difficulté à effectuer tout mouvement violent ; la marche, le maniement même des appareils scientifiques ne peuvent se faire qu'avec des intervalles de repos. L'énergie musculaire a diminué, comme chez les aéronautes, en dépit de l'absence de toute fatigue pendant la montée.

On a, d'autre part, observé depuis longtemps que les habitants des montagnes étaient lents, dans leurs mouvements. Les animaux sont moins robustes; les exercices qui demandent des efforts rapides sont difficiles à exécuter. En dépit de l'acclimatement, l'organisme ne peut se passer, lorsqu'il faut exécuter des efforts répétés, d'une certaine quantité d'oxygène. Cet oxygène se trouvant à une faible tension dans l'atmosphère, fait plus facilement défaut.

Nous étudierons, au chapitre du mal en ballon, le rôle de l'oxygène et de l'acide carbonique sur les symptômes des grandes altitudes, parmi lesquels figurent l'inertie, de véritables paralysies des membres, c'est-à-dire le degré le plus élevé des troubles de la locomotion remarqués dans les montées en aérostat. Nous nous bornerons ici à donner la mesure de la fatigue musculaire que Gastou avait déjà trouvée diminuée à 2.800 mètres, en

ballon, et que nous avons déterminée à notre tour dans le parc de l'Aéro-Club et pendant nos ascensions.

Nous nous sommes servi, pour ces expériences, d'un dynamomètre à main ; quinze pressions étaient faites avec toute l'énergie possible et très rapidement, pour obtenir la fatigue des muscles de la main et de l'avant-bras. Les chiffres obtenus dans chaque expérience vont régulièrement en décroissant.

Observation XII.

Mesure de la force musculaire à terre et à 2.900 mètres.

Nous avons fait une mesure de la force musculaire pendant une première ascension, à terre avant le départ, à 2.900 mètres au bout de trois heures et demie de voyage,et après la descente.

Nous avons noté les chiffres suivants, indiqués par le dynamomètre après quinze pressions de la main droite :

A terre avant le départ	A 2.900 mètres	A terre, à la descente
51	45	51
49	41	45
42	41	43
40	39	42
40	34	40
39	30	39
36	31	40
38	30	39
35	33	35
33	31	40
35	25	36
35	30	38
33	29	39
31	28	30
31	27	30

Les échelles de numérations effectuées à terre avant le départ et après la descente sont donc presque entièrement superposa-

bles. Le total des chiffres ne donne qu'un écart de 19 degrés. La force musculaire est la même au moment où la mensuration commence et lorsqu'elle se termine.

Au contraire, à 2.900 mètres, la force musculaire a diminué de 6 degrés au début des pressions, et tous les autres chiffres sont également inférieurs aux précédents. Le total est inférieur de 74 degrés à la mesure effectuée avant le départ, et de 93 degrés, à celle établie après l'ascension.

En examinant ces résultats on constate donc que la force musculaire a diminué, à 2.900 mètres, du quart environ.

Nous nous étions d'ailleurs rendu compte de cette transformation de l'énergie musculaire en déplaçant des sacs de lest qu'il nous était difficile, pendant l'ascension, d'élever jusqu'au rebord de la nacelle.

Observation XIII.

Mesure de la fatigue musculaire à terre et à 1.100 mètres.

Nous avons déterminé, pendant une nouvelle ascension, les modifications de la force et de la fatigue musculaires, à terre et à 1.100 mètres. Nous avons fait ces évaluations ainsi que les Drs Crouzon et Le Play qui nous accompagnaient.

Les numérations ont été effectuées à terre, avant le départ, et à 1.100 mètres, au bout de quatre heures de voyage.

	A terre	A 1.100 mètres
Sujet A :	46	46
	45	46
	45	46
	50	44
	46	44
	50	45
	50	39
	50	38
	49	40
	43	36

41	36
40	35
39	36
39	30
39	32

La force musculaire est diminuée à 1.000 mètres, mais dans une proportion bien inférieure à celle de la première ascension. En outre, la fatigue musculaire se produit moins rapidement, et l'écart entre les chiffres du début et de la fin de l'expérience est faible quand on le compare à celui de la première ascension.

Sur le sujet B, nous avons trouvé un écart plus considérable, et presque égal à celui noté pendant la première ascension.

	à terre	à 1.1000 mètres
Sujet B :	54	47
	53	42
	45	38
	48	36
	44	35
	41	35
	35	28
	30	26
	35	30
	34	29
	38	26
	32	27
	29	26
	32	25
	30	25

Enfin, sur le sujet C, l'écart est un peu plus faible, montrant bien, à une même altitude, l'importance de la résistance individuelle.

	à terre	à 1.100 mètres
Sujet C :	56	52
	54	52
	50	47
	51	46
	50	41
	45	42

44	40
41	40
41	38
42	40
43	40
41	37
35	38
40	38
41	37

Ces expériences nous permettent de conclure à la diminution de la force musculaire et de la résistance à la fatigue à mesure que l'altitude augmente ; et l'on peut même constater à une très grande hauteur, une véritable impotence fonctionnelle. A trois mille mètres, la force musculaire nous a paru diminuée d'un quart et, de son côté, la fatigue se produisait beaucoup plus rapidement qu'à terre. Mais il faut tenir ici un large compte du degré de musculature et de la résistance individuelle.

CHAPITRE V

LE MAL EN BALLON

1° Définition.

On désigne du nom de mal en ballon l'ensemble des accidents qui surviennent chez les aéronautes à l'altitude moyenne de 5.500 à 6.000 mètres, et dont le développement peut entraîner la mort, s'ils ne sont pas combattus par un traitement approprié.

Nous citerons parmi les premiers aéronautes qui aient observé sur eux-mêmes les effets du mal en ballon, Robertson, Zambeccari, les physiciens Biot et Gay-Lussac qui effectuèrent les premières ascensions scientifiques,le météorologiste Glaisher et son compagnon Cowell, enfin Gaston Tissandier qui survécut seul au tragique voyage du *Zénith* (1875),pendant lequel Sivel et Crocé-Spinelli trouvèrent la mort. Ce sont les premiers auxquels des accidents mortels soient survenus du fait seul de la montée du ballon. Rappelons que, par une singulière coïncidence, Crocé-Spinelli et Sivel avaient aidé Paul Bert dans ses expériences sur le vide, et s'étaient placés ainsi que lui, à la Sorbonne sous la grande cloche d'une machine pneumatique avec laquelle on raréfiait l'air. Les conditions de l'expérience devaient se trouver répétées dans le voyage du *Zénith*, mais les voyageurs avertis des dangers qu'ils couraient n'eurent pas le temps de s'emparer des ballonnets d'oxygène auxquels ils avaient déjà eu recours pendant une

ascension précédente, à 7.800 mètres. Gaston Tissandier qui s'était évanoui le premier, fut sauvé par la forte réduction des échanges respiratoires, et ses faibles ressources purent subvenir à ses besoins devenus très restreints. Son récit de voyage est une véritable observation clinique du mal en ballon. Nous le reproduisons ici à ce titre.

A 1 h. 20, l'altitude est de 7.000 mètres, la température, de — 10 degrés. « Sivel et Crocé-Spinelli sont pâles ; je me sens faible ; je respire de l'oxygène qui me ranime un peu. »

On jette du lest et on monte. « Je me sens tout à coup si faible que je ne peux même tourner la tête pour regarder mes compagnons qui, je crois, sont assis. Je veux saisir le tube à oxygène, mais il m'est impossible de lever le bras. Mon esprit était encore très lucide, j'avais les yeux sur le baromètre et je vois l'aiguille passer sur le chiffre de la pression 290 puis 280 qu'elle dépasse. Je veux m'écrier : « Nous sommes à 8.000 mètres. » Mais ma langue est comme paralysée. Tout à coup je ferme les yeux et je tombe inerte, perdant absolument le souvenir. Il était environ une heure et demie. A 2 heures 8 minutes je me réveille un moment : le ballon descendait rapidement. J'ai pu couper un sac de lest pour arrêter la vitesse et écrire sur mon registre de bord les lignes suivantes que je transcris : « Nous descendons ; T. = — 8 ; je jette lest ; H = 315 ; nous descendons, Sivel et Crocé encore évanouis au fond de la nacelle. Descendons très fort. » A peine ai-je écrit ces quelques lignes qu'une sorte de tremblement me saisit et je retombe évanoui encore une fois. Je ressentais un vent violent qui indiquait une descente très rapide. Quelques moments après, je me sens secoué par les bras, et je reconnais Crocé qui s'est ranimé : « Jetez du lest, me dit-il, nous descendons. » Mais c'est à peine si je puis ouvrir les yeux, et je n'ai pas vu si Sivel était ranimé. Je me rappelle que Crocé

a détaché l'aspirateur qu'il a jeté par-dessus bord, et qu'il a jeté du lest, des couvertures, etc. Tout cela est, dans mon souvenir, extrêmement confus ; l'impression s'éteint vite, car je retombe dans mon inertie plus complètement encore qu'auparavant, et il me semble que je m'endors d'un sommeil éternel. — Que s'est-il passé ? Je suppose que le ballon délesté, imperméable comme il l'était et très chaud, sera remonté encore une fois dans les hautes régions. A 3 h. 15 environ, je rouvre les yeux ; je me sens étourdi, affaibli, mais mon esprit se ranime. Le ballon descend avec une vitesse effrayante : la nacelle est balancée avec violence et décrit de grandes oscillations. Je me traîne sur les genoux, et je tire Sivel par le bras ainsi que Crocé : « Sivel ! Crocé ! m'écriai je, réveillez-vous ! » Mes deux compagnons étaient accroupis dans la nacelle la tête cachée sous leurs manteaux. Je rassemble mes forces et j'essaye de les soulever. Sivel avait la figure noire, les yeux ternes, la bouche béante et pleine de sang. Crocé-Spinelli avait les yeux fermés et la bouche ensanglantée. Vous dire ce qui s'est passé alors m'est impossible. Je ressentais un vent effroyable de bas en haut : nous étions encore à 6.000 mètres d'altitude ; il y avait dans la nacelle 2 sacs de lest que j'ai jetés. Bientôt la terre se rapproche ; je veux saisir mon couteau pour couper la cordelette de l'ancre, impossible de le retrouver : j'étais comme fou et je continuais à appeler « Sivel ! Sivel ! ». Par bonheur, j'ai pu mettre la main sur un couteau et détacher l'ancre au moment voulu. » A 4 heures le ballon s'éventrait sur un arbre. Les deux aéronautes Crocé-Spinelli et Sivel étaient morts en montant. La hauteur maxima, 8.600 mètres, avait été atteinte dès le premier bond.

Le souvenir de cette ascension qui causa une émotion considérable devait inspirer à Sully-Prudhomme son beau poème du *Zénith* :

. . . . . .

Un seul s'est réveillé de ce funèbre somme,
Les deux autres.... ô vous qu'un plus digne vous nomme,
Qu'un plus proche de vous dise qui vous étiez !
Moi, je salue en vous le genre humain qui monte,
Indomptable vaincu des cimes qu'il affronte,
Roi d'un astre, et pourtant jaloux des cieux entiers !

Le mal en ballon ne se fait sentir qu'à une altitude très élevée. Selon Hénocque, il est inutile, jusqu'à 4 000 ou 5.000 mètres, de commencer les inhalations d'oxygène. Guglielminetti rappelle que, dans les ascensions scientifiques de 1901, des ballons ont été jusqu'à 4.500 mètres sans qu'aucun des voyageurs ait constaté l'apparition du moindre trouble ; leur respiration était à peine accélérée et un peu plus profonde. Les échanges respiratoires ont peu varié, et le coefficient respiratoire est resté sensiblement le même qu'au départ. Nous avons consigné les résultats de ces expériences dans les chapitres précédents.

Dans l'ascension du météorologiste Glaisher et de Coxwel, en 1862, ceux-ci remarquent qu'à 6.500 mètres, les oiseaux tombent de la nacelle. A 8.800 mètres, la paralysie commence. Le jour s'obscurcit pour Glaisher et bientôt il fait tout à fait noir ; l'impression de froid est très vive. A 9.000 mètres Glaisher est absolument insensible ; il tombe évanoui. Coxwel a brusquement perdu l'usage complet de ses membres. Il a encore la force de tirer la corde de la soupape avec ses dents.

Pendant le concours d'altitude de 1900, c'est à 5.700 mètres que M. Maison qui n'avait pas voulu respirer de l'oxygène jusque-là, commence à sentir une légère faiblesse dans les jambes ; à 6.000 mètres, il abandonne le tube d'inhalation pour jeter un sac de lest, et il est pris d'une syncope. De son côté, M. Balsan n'a plus la force, à 6.000 mètres, de porter un nouveau tube d'oxygène à ses lèvres, après que le tube précédent est complètement

vidé. C'est encore à 6.000 mètres que M. Herbster, ayant abandonné sa sucette pour jeter du lest, se sent légèrement incommodé.

Enfin, pendant l'ascension dans laquelle Berson et Züring établirent le record du monde d'altitude par 10.500 mètres, des palpitations se produisaient dès que les inhalations d'oxygène étaient suspendues. Les aéronautes trébuchaient et perdirent même connaissance pendant quelques instants.

Ces chiffres montrent assez quelle différence existe entre le mal en ballon et le mal des montagnes. Ce dernier, observé depuis les premiers ascensionnistes, et désigné des noms de puna, paramo, soroche, bies, bootie, suivant les pays, apparaît à une altitude bien inférieure, et qui varie du reste suivant les points. C'est ainsi que le mal des montagnes est constaté aux environs de 3.000 mètres dans les Alpes, tandis qu'à 4.000 mètres, on peut ne pas en souffrir encore lorsqu'on gravit la Cordillère des Andes, et notamment certains sommets des environs de Quito. La cause de cet écart est d'ailleurs mal connue, rapportée par certains auteurs à la limite des neiges éternelles, pour d'autres au froid, ou à la disposition plus ou moins verticale des parois de ces montagnes. De toutes façons, la différence du niveau est considérable entre les points où débutent le mal des montagnes et le mal en ballon.

D'autre part, il faut incriminer dans l'étiologie du mal des montagnes, un certain nombre de facteurs qui font défaut dans le mal en ballon. C'est d'abord la fatigue.

Nous venons de voir que les montagnes à pentes douces, dont l'escalade réclamait une moindre dépense d'énergie musculaire, étaient également celles où le mal des montagnes survenait le plus tardivement. Cet effort musculaire qui est considérable pour les ascensionnistes se trouve réduit à son minimum chez les

aéronautes qui n'ont à effectuer que la manœuvre du lest. Dans le mal des montagnes, un nouveau facteur est représenté par la rapidité de la marche qui produit l'essoufflement et qui fait varier les échanges respiratoires. Il faut invoquer également l'insomnie signalée par Lortet et Marcet, les changements dans l'alimentation et le régime habituel. Nous indiquerons enfin l'influence du vent, très appréciable, et qui hâte la venue du mal des montagnes, de même que le passage dans certains points où l'air se renouvelle difficilement et que l'on désigne du nom de couloirs.

Toutes ces causes qui interviennent dans la production du mal des montagnes, doivent être écartées lorsqu'il s'agit du mal en ballon. Mais, à leur tour, les symptômes déterminés par ces deux accidents varient dans certaines proportions. Il suffit pour s'en rendre compte, d'opposer à l'observation de Gaston Tissandier à bord du *Zénith*, celle de Saussure, le premier qui soit monté au sommet du Mont-Blanc. Voici comme Saussure s'exprime à ce sujet :

« J'espérais atteindre la cime en moins de trois quarts d'heure ; mais la rareté de l'air me préparait des difficultés plus grandes que je n'aurais pu le croire. Sur la fin, j'étais obligé de reprendre haleine à tous les quinze ou vingt pas ; je le faisais le plus souvent appuyé sur mon bâton, mais à peu près de trois fois l'une, il me fallait m'asseoir. Ce besoin de repos était absolument invincible. Si j'essayais de le surmonter, mes jambes me refusaient leur service, je sentais un commencement de défaillance, et j'étais saisi par des éblouissements tout à fait indépendants de l'action de la lumière, puisque le crêpe double qui me couvrait le visage me garantissait parfaitement les yeux. Je fis diverses épreuves pour abréger ces repos ; j'essayais, par exemple, de ne point aller au terme de mes forces et de m'arrêter un instant à tous les quatre ou cinq pas, mais je n'y gagnais rien. La seule chose qui

me fit du bien et qui augmentât mes forces, c'était l'air frais du vent du nord ; lorsqu'en montant j'avais le visage tourné de ce côté-là, et que j'avalais à grands traits l'air qui en venait, je pouvais sans m'arrêter faire jusqu'à 25 ou 26 pas. » Le mal ne cessa pas jusqu'au sommet, et il éprouva beaucoup de peine pour faire ses observations : « J'étais obligé de me reposer et de souffler, après avoir observé un instrument quelconque comme après avoir fait une montée rapide. »

C'est donc la fatigue musculaire et l'essoufflement qui constituent les accidents les plus importants du mal des montagnes. L'étude des symptômes du mal en ballon va nous permettre d'indiquer les modifications réalisées, chez les aéronautes, par l'absence de certaines des causes efficientes du mal des montagnes.

2° Symptômes du mal en ballon.

Les principales fonctions de l'organisme sont altérées par l'effet du mal en ballon. En examinant successivement chacune d'entre elles, nous aurons la série des symptômes que nous grouperons ensuite en un tableau clinique variable d'ailleurs suivant l'altitude.

La fonction respiratoire est la plus constamment intéressée pendant les ascensions de montagne. Saussure se plaint de l'essoufflement qui l'oblige à s'arrêter au bout de quelques pas, et qui s'accentue à mesure que les ascensionnistes se rapprochent du sommet. La respiration devient fréquente, pénible, anxieuse. Au contraire, dans le mal en ballon, ce phénomène est moins accentué. Ni Tissandier, ni Glaisher ne le signalent. Les aéronautes qui dépassent 5.000 mètres sans faire usage d'oxygène, notent que leurs inspirations sont un peu plus profondes, les mouve-

ments de la cage thoracique légèrement exagérés. Avec l'altitude, ces variations de rythme progressent, mais dans de faibles limites. C'est ici que l'élément fatigue,intervient le plus,cet élément si important dans les escalades de montagnes, si faible dans les voyages en ballon.

Les troubles de la digestion commencent par la soif, moins pénible cependant que chez les ascensionnistes, de même que le défaut d'appétit qui va, pour les seconds, jusqu'au dégoût insurmontable des aliments. Chez les aéronautes, les principaux accidents du côté des voies digestives sont représentés par les nausées, les vomissements fréquemment observés. On note parfois de la diarrhée, plus souvent de la dilatation des gaz intestinaux causant une gêne pénible, et qui peuvent intervenir pour une certaine part dans la pathogénie du mal en ballon.

Plus considérables que les précédentes sont les altérations de l'énergie musculaire. Les aéronautes sont d'accord pour signaler, au delà de 5.000 mètres, l'aggravation de cette sensation de fatigue, de cette affaiblissement musculaire déjà observés à de moins grandes altitudes. Les accidents de l'appareil locomoteur débutent par une douleur très spéciale dans les jambes, une sorte de coup au genou. Les membres inférieurs sont les premiers envahis par cet engourdissement qui gagne ensuite les membres supérieurs ; l'aéronaute n'a plus la force de faire un mouvement, de saisir la sucette de l'appareil à oxygène. Les muscles de la face sont paralysés à leur tour, la parole devient impossible en dépit des efforts de l'aéronaute qui a conservé sa lucidité d'esprit. Après la descente, cet engourdissement persiste assez longtemps, et l'on a la sensation d'être brisé de fatigue.

Les troubles circulatoires sont également importants. On observe d'abord l'accélération du pouls, les battements dans les tempes, les bourdonnements d'oreilles, et ces symptômes précè-

dent l'apparition de tous les autres Le pouls devient ensuite irrégulier, dicrote, et atteint parfois 130 à 140 pulsations par minute. Nous avons vu, au chapitre de la pression artérielle, que les opinions différaient en ce qui concerne la mesure de cette pression. Dans les ascensions de montagnes il y a également des résultats contraires. Les palpitations surviennent d'une façon constante. Suivant certains auteurs, le cœur bat à être entendu. L'angoisse cardiaque est également signalée.

On remarque la congestion du système veineux, surtout à la face qui devient rouge, puis violacée, vultueuse ; les lèvres sont bleuâtres, gonflées. Cette congestion veineuse est la cause des syncopes qui se produisent lorsqu'on se baisse dans la nacelle. Un cas de syncope est signalé, entre autres exemples, dans le concours d'altitude de 1900, à la suite d'une tentative pour puiser dans un sac de lest. Enfin, les hémorragies apparaissent aux très grandes altitudes, vers 8.000 ou 9.000 mètres, hémorragies nasales et pulmonaires, les plus fréquentes, puis celles de la muqueuse intestinale, des conjonctives, du conduit auditif, et même l'hématurie.

A la descente du *Zénith*, Crocé-Spinelli et Sivel avaient les lèvres ensanglantées par suite d'une hémorragie pulmonaire qui avait précédé leur mort.

La sécrétion urinaire est très ralentie pendant les ascensions. Les urines sont rares et foncées. L'excrétion de l'urée est considérablement diminuée. La rétention chlorurée est bien nette. Les phosphates et les sulfates sont en quantités inférieures à la normale.

Par contre les alcaloïdes se retrouvent dans de plus grandes proportions. La cryoscopie permet de constater une diminution de la filtration glomérulaire. Enfin Dastre signale l'hyperglycémie. Ces altérations du rein, traduites par les variations de

l'urine, ont permis d'établir une nouvelle théorie pathogénique du mal en ballon.

La série des accidents causés par le mal en ballon se clôt par l'énumération des symptômes nerveux. Le premier en date est la céphalalgie, parfois extrêmement pénible, et qui manque rarement au-dessus de 6.000 mètres. En même temps se développe cette impression de torpeur, cet engourdissement dont le début doit être rapporté à une altitude beaucoup plus basse. Les étourdissements surviennent ensuite, puis les troubles des organes des sens. L'ouïe est diminuée ainsi que la vue.

A 8.800 mètres, Glaisher remarque que le jour s'obscurcit, et la nuit est bientôt complète, il y a une véritable cécité passagère remplacée rarement par des éblouissements. Enfin la sensibilité paraît très affaiblie.

Nous signalerons également, parmi les troubles psychiques, cette tendance à l'inertie, cette sensation de bien-être, de désintéressement notées par divers aéronautes. La remarque générale est qu'il serait bon de mourir ainsi. La prostration très manifeste s'accompagne d'une tendance invincible au sommeil. Mais quelquefois, une excitation violente succède à cette torpeur, et peut aller jusqu'à des idées de meurtre, signalées au retour d'une ascension à de très grandes hauteurs.

L'ensemble de ces symptômes constitue le mal en ballon qui diffère surtout du mal des montagnes par certains phénomènes de la respiration et de la digestion. En groupant ces accidents suivant l'ordre dans lequel ils se produisent, on constitue le tableau clinique de ce mal en ballon :

L'aéronaute s'aperçoit au début que sa force musculaire a diminué, qu'il se fatigue vite et que la manœuvre du lest est devenue un travail pénible. En même temps, il commence à ressentir quelques bourdonnements d'oreilles, des battements aux tempes,

un peu de dyspnée ; s'il examine son pouls, il le trouve accéléré. L'altitude augmente-t-elle, la faiblesse croît, la tête est lourde, les articulations des genoux deviennent douloureuses, il y a des palpitations cardiaques, de la congestion de la face ; enfin la torpeur est plus manifeste, les membres inférieurs s'engourdissent. Si le ballon s'élève encore, les nausées, les vomissements apparaissent. Vers 7.000 mètres, l'impotence fonctionnelle s'étend aux membres supérieurs ; le seul fait de se baisser suffit à déterminer une syncope suivie d'un long évanouissement ; puis, à 8.000 mètres en moyenne, la somnolence s'accentue, la langue se paralyse, l'aéronaute est pris de tremblements. Une sensation de froid l'envahit. Son esprit est encore lucide ; mais déjà le jour s'obscurcit, la nuit devient complète. Cependant le ballon monte toujours ; des filets de sang s'écoulent par les narines et les commissures labiales du voyageur ; sa face est violacée, ses lèvres bleutées et gonflées : la paralysie est complète, le rythme respiratoire insensible ; alors cet engourdissement complet, cet oubli des choses extérieures, se transforment en un sommeil invincible qui, lentement, progressivement, va faire place à la mort.

Nous remarquerons, d'ailleurs, que cette terminaison fatale est absolument exceptionnelle, et que l'on signale, jusqu'ici, deux cas seulement de mort causés par le mal en ballon.

3° Pathogénie.

Le mal en ballon est un accident bien caractérisé, qui commence vers 6.000 mètres, et qui, frappant successivement tous les organes de l'homme, peut aboutir à la mort. Mais, si les symptômes en sont nets, si leur groupement peut se faire suivant

les altitudes, la question devient beaucoup plus obscure quand il s'agit d'expliquer leur apparition, d'établir leur pathogénie. De nombreuses théories ont été présentées, que nous allons discuter successivement, en les réunissant autour d'un certain nombre de facteurs, la pression atmosphérique d'abord et les éléments secondaires comme le froid, le tempérament personnel ; puis les variations quantitatives de certains gaz, l'oxygène et l'acide carbonique.

Le mal en ballon se produisant pendant les ascensions aux grandes altitudes, l'influence de la pression devait tout d'abord venir à l'esprit des expérimentateurs. On supposait autrefois que les accidents résultaient d'une diminution dans la pression alvéolaire, qui ne contrebalancerait plus celle des vaisseaux sanguins pulmonaires. Il se formerait alors une énorme ventouse sous l'aspiration de laquelle les vaisseaux se gonfleraient, la circulation se trouverait entravée. Mais nous avons montré que la pression ambiante s'équilibrait sur tout le corps, que par conséquent une aspiration due à une ventouse ne pouvait s'effectuer localement. La tension des gaz, les phénomènes d'osmose interviennent pour combattre cette influence de la dépression en un point. On ne peut comparer ce phénomène à celui dont la constatation a été faite par Aggazzotti qui montre la production des hémorragies dans les os du crâne des oiseaux, au moment où la pression atmosphérique augmente à nouveau ; dans cette observation, les hémorragies sont dues aux lacunes à l'intérieur desquelles la pression est demeurée basse : il y a alors défaut d'équilibre, stase sanguine en ces points et rupture de vaisseaux. Mais ce n'est pas le cas pour les poumons, et cette théorie doit en conséquence être écartée ainsi que celles qui ont été proposées pour la première fois par Boyle et d'après laquelle le gaz dissous dans le sang subirait l'action de cette brusque décompression et s'élimi-

nerait sous forme de bulles qui détermineraient à leur tour de véritables embolies. Nous avons vu que l'azote dissous dans le plasma disparaissait progressivement à mesure que la pression diminuait. Au surplus, si cette théorie était exacte pour le mal des montagnes qui survient vers 3.000 mètres, le mal en ballon devrait commencer à une altitude bien moins élevée puisque la montée est plus rapide. Au contraire, son apparition ne s'observe qu'aux environs de 6.000 mètres.

Beaucoup plus importante est la théorie de Kronecker et de Bartlett sur les troubles circulatoires dépendant mécaniquement de la dépression barométrique. Kronecker fait transporter deux personnes de Zermatt (1.600 mètres) au Breithorn (3.750 mètres), et constate chez elles, à l'arrivée, les symptômes du mal des altitudes. Il n'y a cependant eu pour elles ni effort musculaire, ni fatigue ; à ce point de vue, là, au moins, elles se trouvaient dans les mêmes conditions qu'un aéronaute en sa nacelle ; cependant elles présentaient à cette altitude les lèvres cyanosées, l'appétit diminué, de la répulsion pour le vin : tout effort musculaire leur était pénible ; une marche de vingt pas les fatiguait, et les moindres mouvements, comme le maniement des appareils photographiques, nécessitait quelques instants de repos.

L'exhalaison d'acide carbonique est la même pendant le repos, aux deux altitudes, tandis que pendant l'escalade des montagnes elle s'élève beaucoup au-dessus de la proportion normale ; elle dépasse alors, selon Kronecker, 9, 11, 12 pour 100. Il y a d'autre part une élimination particulière de l'azote par les urines ; elle se fait en partie seulement sous forme d'urée, en partie sous forme de substances alloxuriques. Un certain nombre de ces phénomènes se produit dans les chambres pneumatiques.

Kronecker conclut de ces faits que la production du mal des altitudes tient à l'action mécanique de la dépression atmosphé-

rique et que la diminution de la proportion d'oxygène peut être poussée très loin sans produire d'accidents appréciables, si la pression reste normale. Des lapins que l'on fait respirer par un tube trachéal communiquant avec un gazomètre sont asphyxiés rapidement quand la pression diminne de 200 à 300 millimètres.

Le mécanisme du mal des montagnes, ainsi que du mal en ballon, s'explique par la stagnation du sang dans les poumons ; la pression est très faible dans les vaisseaux pulmonaires, et un faible changement de pression dans l'air inspiré suffit à modifier considérablement le cours du sang. Les individus atteints de ce mal sont dans le même état que les personnes présentant une insuffisance mitrale, et chez lesquelles les stases sanguines se produisent facilement dans le système pulmonaire. D'ailleurs les malades ayant une lésion mitrale sont sujets à ces accidents à de très faibles altitudes.

La même théorie est défendue par Germe qui explique ce mal par l'anhémospasie, c'est-à-dire le défaut d'aspiration du sang dans les poumons, Si cette aspiration est diminuée par suite de la faible tension de l'air dans les alvéoles, de la dilatation des gaz intestinaux qui gênent les mouvements du diaphragme, il se produit une accumulation du sang dans le système veineux, et au contraire, un ralentissement de la circulation artérielle, d'où nutrition imparfaite des tissus, anémie cérébrale.

Les deux théories se trouvent donc en désaccord complet avec celle de Paul Bert d'après laquelle la diminution de l'oxygène est la seule cause du mal des altitudes. Pour Paul Bert, on peut diminuer la pression jusqu'à un chiffre très bas,à condition d'augmenter progressivement la teneur de l'air en oxygène. Pour Kronecker au contraire, et pour Germe, on peut diminuer la proportion d'oxygène jusqu'à un chiffre très faible, correspondant presque à celui que représente l'oxygène du sang, à condi-

tion de garder la pression normale. Si cette dernière fait défaut, l'aspiration du sang veineux se ralentira, le sang artériel circulera mal, assurera insuffisamment la nutrition des tissus, et le mal en ballon comme le mal des montagnes apparaîtra bientôt.

Il est vrai que dans les autopsies d'animaux morts sous la cloche d'une machine pneumatique, on constate souvent la congestion pulmonaire. D'autre part, les sujets atteints de mal en ballon présentent cette cyanose de la face, ces lèvres enflées que l'on retrouve dans certains cas de gêne de la circulation. Mais l'observation montre que les aéronautes atteints du mal en ballon se guérissent rapidement en inspirant de l'oxygène pur. La pression n'a pas changé ; elle est demeurée très faible ; mais la quantité d'oxygène contenue dans un volume d'air a augmenté. Il ne semble donc pas que la dépression suffise à expliquer, du moins complètement, les effets du mal en ballon. Elle peut cependant intervenir pour sa part, en ralentissant le cours du sang et en diminuant ainsi la quantité d'oxygène fournie aux tissus.

A cette théorie de la dépression atmosphérique se rattache celle qui se rapporte à la modification du vide pleural. Normalement, pendant l'inspiration, le développement de la cage thoracique aurait pour effet l'augmentation de la cavité pleurale dans laquelle il y a le vide, si les poumons n'étaient distendus par l'air qu'ils contiennent, et qui ne se trouve plus en équilibre avec la pression extérieure. Lorsque la pression barométrique diminue, le changement de pression en dedans et en dehors des poumons, pendant l'inspiration, doit diminuer également. L'aspiration thoracique est alors affaiblie, la béance des veines est moins complète, et la stagnation peut se trouver facilitée dans le système veineux pulmonaire.

Une dernière théorie peut être rapprochée des précédentes.

Colin, d'Alfort, invoque la dilatation des gaz intestinaux qui augmenteraient de volume en raison de la faible tension de l'air extérieur et qui refouleraient le diaphragme. Ce fait a été en effet constaté, en dépit de l'assertion contraire de Regnard qui fait remarquer que l'intestin est ouvert à ses deux extrémités. Cependant Paul Bert a signalé que, sous la cloche d'une machine pneumatique, cette distension se produisait : « Il m'a paru que ce gonflement était assez fort pour agir même sur la respiration et en gêner les mouvements ; j'ai constaté sur moi-même ce gonflement désagréable. » Le même phénomène a été observé pendant des ascensions en ballon.

Ces diverses théories ne sauraient expliquer à elles seules le mal en ballon. Il n'en est pas moins vrai qu'on peut les classer parmi les causes accessoires de cet accident. La gêne apportée à la circulation pulmonaire par le défaut de pression alvéolaire, la diminution relative du vide pleural, le refoulement du diaphragme par les gaz intestinaux ne pourraient amener l'apparition de tous les symptômes du mal en ballon. Mais quand ils s'associent aux modifications chimiques de l'atmosphère, aux variations de la teneur en oxygène et en acide carbonique de l'air alvéolaire, ils peuvent aggraver les accidents, en créer d'autres, et intervenir ainsi pour une part dans la pathogénie du mal en ballon.

Nous n'insisterons pas sur les théories qui rapportent à la fatigue la plupart des symptômes du mal en ballon ; chez les aéronautes la fatigue est, en effet, très réduite ; le seul exercice consiste dans la manœuvre de la cueiller à lest ; on ne peut guère invoquer l'effort musculaire comme cause même adjuvante de ces accidents. L'absence de fatigue peut, au contraire, expliquer en partie pour quelles raisons le mal en ballon survient à une altitude beaucoup plus élevée que le mal des montagnes. Nous écar-

terons également l'action unique du froid qui agit, peut-être, cependant, en hâtant l'apparition de certains symptômes, notamment des troubles locomoteurs. Enfin, l'analyse de l'air nous a montré que la proportion de l'oxygène dans l'air restait toujours la même, quelle que fût l'altitude. Il faut donc rejeter complètement l'hypothèse de Boussingault et de Humboldt d'après laquelle la quantité d'oxygène contenue dans un volume d'air diminuerait avec la hauteur dans de plus grandes proportions que l'azote.

Aux théories mécaniques invoquées pour expliquer la pathogénie du mal des altitudes, mal des montagnes ou mal en ballon, un grand nombre d'auteurs opposent les théories chimiques,et rapportent aux quantités d'oxygène ou d'acide carbonique contenues dans les alvéoles pulmonaires l'apparition de ces accidents. La principale de ces nouvelles théories est celle de l'anoxyhémie.

C'est à Jourdanet et à Paul Bert que l'on doit la théorie de l'anoxyhémie. Reprenant l'étude du mal des montagnes dont la première description est due à Acosta qui traversa l'Amérique du Sud à la fin du xvi[e] siècle, Jourdanet pense que la diminution d'oxygène dans l'atmosphère raréfié doit être la cause de ces accidents A son tour, Paul Bert examine cette question de l'anoxyhémie et établit définitivement cette théorie à la suite de ses recherches expérimentales. Les premières avaient pour but de répondre à l'objection de Payerne qui contestait, en 1851, dans une communication à l'Académie des sciences, la valeur de cette anoxyhémie. Suivant Payerne, lorsque les symptômes du mal des altitudes se font depuis longtemps sentir, la quantité d'oxygène dans l'air est encore très supérieure à celle que peuvent absorber les hématies. Si la pression atmosphérique, aux plus

hautes cîmes, n'est que de 320 millimètres de Hg, l'air doit y renfermer environ 125 grammes d'oxygène par mètre cube, soit environ 100 grammes dans les 800 litres que l'homme respire normalement par heure. On a démontré d'autre part qu'un homme au repos convertissait 50 grammes d'oxygène en acide carbonique pendant une heure environ. Si l'homme en consomme 5 gr. 10 de plus par suite de son travail, il restera encore un large excédent, à cette pression de 320 millimètres. A son tour, Paul Bert montre que l'oxygène a besoin, pour être absorbé par le sang, de se trouver à une certaine tension dans les alvéoles ; si cette tension est trop forte, il se produira des phénomènes d'intoxication par l'oxygène devenu un poison ; si cette tension est faible, le gaz mettra plus de temps à se transformer,en présence de l'hémoglobine,en oxyhémoglobine et la nutrition des tissus ne sera plus assurée. Il faut donc compenser cette dépression atmosphérique en augmentant la teneur de l'air en oxygène. La pression ne reviendra pas à la normale, mais une plus grande quantité d'oxygène se trouvera au contact des vaisseaux et l'équilibre des échanges respiratoires se rétablira. « La pression barométrique n'agit pas par elle-même, dit Paul Bert, elle n'intervient que par ce fait qu'elle diminue la tension de l'oxygène. La pression barométrique ne fait rien, la tension de l'oxygène est tout. »

Les expériences de Paul Bert donnent la confirmation de ses assertions. Dans l'air confiné les moineaux périssent lorsque la tension de l'oxygène est représentée par un chiffre qui oscille entre 3 et 4, chiffre indiquant la proportion centésimale. Ces moineaux présentent successivement une augmentation du nombre de respirations, l'abaissement de la température, des convulsions et la mort. En définitive, « en vase clos, aux pressions inférieures à une atmosphère, la mort survient lorsque la tension $O \times P$ de l'oxygène de l'air est réduite à une certaine valeur qui

est constante pour chaque espèce, ou qui du moins oscille dans de faibles limites autour d'une moyenne ».

La mort des animaux n'est pas due à l'acide carbonique : il s'en produit, selon Paul Bert, d'autant moins que la pression est plus faible. L'air contient encore, vers la fin de l'expérience, une assez grande quantité d'oxygène, soit, en moyenne, de 12,5 à 17 pour 100. Mais la tension de cet oxygène a diminué, et suffit à produire la mort.

Pour modifier ces expériences, Paul Bert augmente la proportion centésimale d'oxygène de l'air, dans le même rapport que la pression diminue, soit, pour une dépression d'une demi-atmosphère, une quantité d'oxygène égale à 2×20.9 pour 100. L'animal placé dans ce milieu ne présente pas de troubles ; mais si on diminue de nouveau la pression, la mort survient quand la tension de l'oxygène n'est plus que de 3. 6 contre 4.18 au début, bien que l'air contienne encore de 40 à 60 pour 100 d'oxygène. Si à ce moment on introduit à nouveau de l'oxygène, le rétablissement de l'animal est immédiat. Nous avons dit, au chapitre de la respiration, que Paul Bert avait renouvelé ces expériences sur lui-même ainsi que sur Sivel et sur Crocé-Spinelli et qu'il était arrivé sans accidents à une pression de 248 millimètres de Hg correspondant à une altitude de 8.800 mètres de hauteur.

C'est sur ces expériences que repose la théorie de l'anoxyhémie. Elle se trouve en opposition avec la théorie de Germe, d'après laquelle un animal placé sous la cloche d'une machine pneumatique et sur le point de mourir par suite de la grande diminution de pression, est ranimé lorsqu'on introduit un gaz inerte qui rétablit cette pression. Ces expériences ont été répétées par Le Gorgeu qui introduisait de l'hydrogène sous la cloche au moment où un moineau placé dans l'air raréfié à de basses pressions, venait de tomber. Il a constaté une amélioration fréquente. Quel-

quefois l'oiseau se redressait, a pu voler un instant dans un cas. Ces expériences montrent donc que si l'anoxyhémie joue un rôle prépondérant dans la production du mal en ballon, la diminution de pression a également son importance.

Si l'on compare enfin les symptômes du mal en ballon à ceux de l'asphyxie par défaut d'oxygène, on constate une assez grande analogie entre ces deux sortes d'accidents. Dans l'asphyxie par oxyde de carbone, gaz très peu tonique par lui-même, et qui tueen prenant la place de l'oxygène dans les globules et en formant une carboxyhémoglobine qui ne se réduit plus, on note les mêmes symptômes que dans l'étouffement, la strangulation. Au début apparaît la polypnée, causée par l'accélération respiratoire, et la dyspnée due à l'excitation du bulbe par un sang riche en acide carbonique ; les symptômes respiratoires s'accentuent, s'accompagnent d'angoisse. L'expiration paraît être un véritable spasme. On note ensuite la vaso-constriction des organes profonds, ce qui augmente la pression ; la pupille est dilatée, le cœur accéléré puis ralenti ; il y a de la sudation abondante, de la salivation. Les phénomènes paralytiques apparaissent bientôt ; l'excès de l'acide carbonique amène, par action sur le système nerveux, la perte de connaissance ; la respiration puis le cœur s'arrêtent ; quelques convulsions se produisent encore et précèdent de peu la mort.

On retrouve dans ce tableau clinique de l'asphyxie par l'oxyde de carbone, c'est-à-dire par défaut d'oxygène, un certain nombre de symptômes communs au mal en ballon ; d'autres sont modifiés ou font défaut. Faut-il en effet rapporter à l'anoxyhémie tous les accidents des altitudes ; ne doit-on pas incriminer pour une certaine part l'action de l'acide carbonique ? Nous allons examiner le rôle de ce gaz, et rechercher dans quel mesure il peut intervenir dans la production du mal en ballon.

La théorie d'après laquelle les modifications de l'acide carbonique détermineraient le mal en ballon s'oppose à la théorie de l'anoxyhémie. Le rôle de l'acide carbonique sur les voies respiratoires est très important. Quand le renouvellement de l'air alvéolaire est anormal, par suite d'une diminution de tension, les mouvements respiratoires s'accélèrent, leur amplitude augmente, il y a suractivité du centre respiratoire et dyspnée. Si au contraire on pratique sur un animal une respiration artificielle énergique, il y a ensuite cessation de la respiration normale, et apnée tant que l'oxygène demeure en excès. Pendant la dyspnée, il existe une accumulation d'acide carbonique, et c'est alors que le centre respiratoire est excité : au contraire, pendant l'apnée, la diminution de l'acide carbonique rend le sang inactif vis-à-vis du centre respiratoire. L'acide carbonique est donc un excitant énergique du centre respiratoire. On a objecté que l'acide carbonique sous pression avait des propriétés anesthésiantes, et nous avons énuméré, au chapitre de la respiration, les diverses théories d'après lesquelles l'acide carbonique est un narcotique (Hirt), un anesthésique (Paul Bert). Mais on peut concilier ces faits qui paraissent contradictoires, et l'on sait que les éléments doués de propriétés anesthésiques lorsqu'on les emploie en quantité suffisante, sont des excitants si on les utilise à des doses moindres. Il en serait ainsi de l'acide carbonique .

Ces faits permettent d'expliquer certains accidents survenant lorsque la proportion de l'acide carbonique est modifiée. Mais dans quel sens cette modification se fait elle ? Suivant Tissot, la quantité d'acide carbonique est invariable jusqu'à l'altitude de 5.000 mètres. Quand l'altitude est supérieure à 5.000 mètres, il y a augmentation dans la quantité d'acide carbonique exhalé ; ce fait est dû, comme pour l'oxygène, au développement de la ventilation pulmonaire. Enfin, au-dessus de 5.000 mètres, corres-

pondant à une proportion d'oxygène inférieure à 11 pour 100 dans l'air inspiré, le quotient respiratoire s'accroît pour les mêmes motifs de ventilation pulmonaire. Mais si cette ventilation exerce une faible action sur l'oxygène, elle a beaucoup plus d'influence sur l'acide carbonique qui s'exhale et que l'on retrouve considérablement augmenté.

De son côté, G. Weiss signale la faible modification des mouvements respiratoires pendant la dépression. Il semblerait donc que les échanges de l'organisme dussent se ralentir. Mais, à mesure que l'on monte, la fixation d'oxygène et l'élimination de l'acide carbonique deviennent plus grandes. L'air sortant du poumon contient moins d'oxygène et plus d'acide carbonique.

A son tour Aggazzotti a retrouvé, au delà d'une dépression de 456 millimètres, une diminution de l'oxygène et de l'acide carbonique dans les alvéoles pulmonaires ; cependant l'acide carbonique disparaît plus lentement. Durant la raréfaction, la tension partielle de l'acide carbonique dans l'air de réserve est toujours inférieure à la normale. Au retour à la pression de 760 millimètres, la quantité d'acide carbonique dans l'air des alvéoles est moindre que normalement. Cela provient de ce que, pendant la raréfaction, l'acide carbonique a été éliminé du sang avec excès ; après l'acapnie, c'est d'abord le sang qui reprend l'acide carbonique dont il était privé.

Il semble donc, d'après ces théories, qu'il y ait une élimination plus ou moins considérable de l'acide carbonique pendant la dépression barométrique, et que l'acide carbonique doive faire bientôt défaut. Nous signalerons cependant l'interprétation de Gavarret, d'après lequel le mal des altitudes provient au contraire d'un véritable empoisonnement par l'acide carbonique. Gavarret calcule le travail effectué par un homme qui gravit une montagne, et l'évalue à 150.000 kilogrammètres pour une ascension de

2.000 mètres ; il cherche alors la quantité de carbone qui a dû être brûlée par l'organisme pour produire ce travail, et il trouve que la combustion de ce carbone a eu pour effet la fabrication d'un excès de 65 litres d'acide carbonique par heure. Ce gaz est incomplètement exhalé, s'accumule dans le sang en grandes quantités, et détermine les symptômes du mal des altitudes. Le repos, en permettant le dégagement de cet excès d'acide carbonique, ramènerait le sang à l'état normal et serait bientôt suivi d'une guérison complète.

Cette interprétation du mal des altitudes doit être complètement écartée. Il suffit d'observer, en effet, que les aéronautes ont le mal en ballon sans avoir effectué le moindre travail, et que, d'autre part, les examens de l'air respiré ont montré une augmentation de l'acide carbonique exhalé ; de plus les gaz du sang ne contiennent pas un excès d'acide carbonique. Enfin, l'élimination de ce gaz est très facile par les poumons et l'on ne s'explique guère comment elle se trouverait entravée. Nous avons cité pour mémoire cette opinion de Gavarret. L'empoisonnement par l'acide carbonique n'a rien à faire avec le mal en ballon.

La théorie de Mosso sur l'acapnie, insuffisance d'acide carbonique dans le sang par suite de la raréfaction de l'air, est basée au contraire sur un certain nombre de faits que l'on a vérifiés pendant les ascensions ainsi qu'au laboratiore. Mosso rappelle cette remarque de Paul Bert, que « les variations de l'acide carbonique sur les hautes montagnes sont considérablement plus étendues que celles de l'oxygène ». D'autre part, suivant une loi de Paul Bert, un animal placé dans une atmosphère raréfiée au tiers et composée cependant de deux tiers d'oxygène, ne devrait présenter aucun trouble. Les expériences de Mosso ont montré qu'il n'en était pas ainsi : la fréquence de la respiration augmente : il y a de la somnolence et du malaise. Ces phénomènes tiennent à

la diminution de l'acide carbonique, à l'acapnie. Dans diverses expériences, Mosso constate qu'il ranime avec quelques litres d'acide carbonique des animaux placés sous la cloche de la machine pneumatique, lorsque la diminution de pression va causer leur mort. L'acide carbonique agit ici en stimulant le cœur ; il fait contracter les vaisseaux sanguins, il augmente l'amplitude des inspirations et il développe ainsi la ventilation pulmonaire. D'autre part, la somnolence et l'état de dépression des centres nerveux observés quand la tension propre de l'oxygène reste constante, dépendent de la diminution subie par la quantité d'acide carbonique du sang.

Ainsi, par l'effet d'une rapide diminution de la pression barométrique, la quantité de l'acide carbonique émise par notre corps augmente d'une manière mesurable. On ne peut expliquer comme un simple phénomène physique la différence de 1 gr. 5 à 2 grammes obtenue en une demi-heure entre les respirations à la pression ordinaire et dans l'air raréfié ; il doit s'être produit une décomposition chimique dans les éléments du sang et des tissus.

Dans de nouvelles expériences exécutées sur des singes, Mosso reproduit les phénomènes ressentis par l'homme pendant les ascensions en ballon à de grandes altitudes. Il observe une lente paralysie qui s'étend peu à peu. Le sommeil, l'abattement, la cessation des fonctions psychiques sont les faits prédominants. Vient ensuite le vomissement. Dans la rapide dépression barométrique réalisée par la montée d'un aérostat, le sommeil et la perte de connaissance apparaissent sans avoir été précédés d'une phase d'excitation ; cette dépression du système nerveux est produite non seulement par l'anoxyhémie, mais encore par l'acapnie.

Certaines personnes ressentent plus fortement les effets de la diminution de l'oxygène, et, chez elles, l'excitabilité change peu.

D'autres souffrent surtout du manque d'acide carbonique, et présentent un grand affaiblissement de l'excitabilité nerveuse. Les personnes qui résistent le moins à un arrêt de la respiration sont celles-là mêmes chez lesquelles l'insuffisance d'oxygène prend le dessus et la dyspnée se produit plus vite : celles chez qui dominent la dépression et le ralentissement dans la vitalité des centres respiratoires résistent plus longtemps.

Ainsi se groupent les symptômes du mal en ballon autour de deux éléments, l'oxygène et l'acide carbonique. L'organisme étant très sensible au défaut de l'acide carbonique dans le sang, et l'étant assez peu au défaut d'oxygène, c'est à l'acapnie qu'il faut rapporter le vomissement lorsque celui-ci se manifeste à des altitudes inférieures à 3.000 mètres. A ces faibles hauteurs, la cyanose, la tendance au sommeil, la fatigue, les palpitations, les troubles de la vue, qui sont les principaux symptômes de l'anoxyhémie, n'existent pas encore. Si l'on étudie les rapports du vomissement avec les mouvements respiratoires, on constate que celui-ci se produit dans la période où il y a une excitation des centres qui accélère le rythme et diminue la profondeur des inspirations. La preuve que l'acapnie produit le vomissement est fournie par l'efficacité prompte et bienfaisante de l'acide carbonique.

Les inhalations d'acide carbonique constituent, en conséquence, le traitement indiqué par Mosso contre le mal en ballon. Cet acide carbonique doit, bien entendu, être mélangé d'oxygène. Mosso a constaté que les inhalations de l'oxygène pur faisaient diminuer, pendant une ascension, la profondeur de la respiration, ralentissaient sa fréquence et celle du pouls alors qu'elles n'avaient aucun effet à Turin ; par contre certains phénomènes morbides, l'apathie, la somnolence, les vomissements, la céphalée, causés par les fortes dépressions barométriques, n'étaient pas modifiés par l'oxygène.

Au contraire, les inhalations d'oxygène et d'acide carbonique à 8 ou 10 pour 100 dans le mélange, rétablissent presque instantanément les conditions normales en rendant à la respiration sa profondeur, en dissipant la fatigue. Le pouls est considérablement ralenti, il se produit une profonde sensation de bien-être. L'adjonction d'acide carbonique rend une partie de sa valeur à la tension partielle de l'acide carbonique dans le sang lorsque la dépression est très faible,

Les faits intéressants constatés dans les grandes ascensions, et opposés au malaise et aux vertiges que le même mélange provoque en quelques instants à la pression de 760 millimètres de mercure, déposent en faveur de l'hypothèse que l'acapnie est une des causes du mal des montagnes.

La théorie de l'acapnie, proposée par Mosso, est également défendue par Aggazzotti. Cet auteur remarque que l'air riche en oxygène a une action bienfaisante manifeste dans le malaise produit par la dépression barométrique. Cette action est jusqu'à un certain point proportionnelle au pourcentage de l'oxygène dans l'air respiré ; mais, dans les très fortes raréfactions, les symptômes de malaise se manifestent avec la même intensité quelle que soit la proportion de l'oxygène dans le mélange inspiré.

De son côté, l'acide carbonique exerce une action bienfaisante sur le mal des altitudes. Plus la quantité de l'acide carbonique dans le mélange inspiré est grande, et plus grande aussi devient la résistance à la raréfaction de l'air. L'acide carbonique ne suffit pas à empêcher la manifestation du malaise au delà d'un certain degré de raréfaction ; il n'a aucun effet sur ce malaise quand sa tension partielle n'est plus que 18 millimètres de mercure.

Le mélange d'oxygène et d'acide carbonique a permis à Aggazzotti de réaliser sur lui-même, en 1906, l'énorme dépression

de 122 millimètres de Hg, correspondant à 14.582 mètres. Quand l'expérimentateur se sentait fatigué et déprimé, tout malaise disparaissait par l'adjonction d'acide carbonique dans l'air. L'oxygène pur ne le rétablissait pas de même. La conclusion d'Aggazzotti est donc que la présence d'une certaine quantité d'acide carbonique dans l'air inspiré est indispensable contre le malaise dans les fortes dépressions. Le conseil donné par Mosso aux aéronautes, d'ajouter de l'acide carbonique à l'oxygène, est pleinement justifié. Il suffit pour Aggazzotti de 13 pour 100 d'acide carbonique avec 87 pour 100 d'oxygène dans le mélange pour que l'homme puisse arriver à l'altitude de 14.582 mètres sans ressentir le moindre trouble. La ventilation pulmonaire devient plus active, et la proportion des gaz du sang se modifie fort peu.

Ces résultats obtenus par l'addition d'acide carbonique à l'oxygène, permettent de répondre à l'objection de Regnard qui niait l'action bienfaisante de cet acide : « On peut faire perdre au sang d'un animal environ la moitié de l'acide carbonique qu'il contient en activant sa ventilation pulmonaire au moyen d'un appareil à respiration artificielle ; on peut sur soi-même faire la même opération en faisant intervenir la volonté ; jamais on n'observe les symptômes du mal des montagnes. » Mais ce phénomène physiologique de l'apnée, ainsi produit, ne peut se comparer aux modifications apportées à l'organisme, dans les grandes altitudes, par la raréfaction de l'air.

A son tour, Tissot, reconnaissant les bons résultats obtenus par Vallot, au Mont-Blanc, en utilisant les inhalations d'acide carbonique, croit que ce gaz agit uniquement en faisant augmenter par le sujet le nombre et la profondeur des mouvements respiratoires, ce qui détermine, à son insu, une plus grande absorption d'oxygène par le sang. Le sujet a donc mieux respiré, et l'on peut opposer ce phénomène à celui observé quand l'aéronaute

fait un effort musculaire : il arrête alors ses mouvements respiratoires, il oublie de respirer, et cet arrêt suffit probablement à déterminer avec plus de rapidité qu'au niveau du sol un appauvrissement notable du sang en oxygène. D'où l'apparition d'un étourdissement ou d'une syncope.

L'acide carbonique servirait donc à développer les inspirations. D'autre part, si son inhalation a eu pour effet d'augmenter le taux de ce gaz dans le sang, elle produit en même temps une accélération des mouvements respiratoires et par suite, une augmentation du taux de l'oxygène dans le sang, d'où résulte peut-être la production des malaises.

L'action de l'acide carbonique est donc expliquée par un autre mécanisme que celui qu'ont invoqué Mosso et Aggazzotti. Il semble, quand on examine les résultats obtenus par ces deux auteurs, que l'acide carbonique, tout en intervenant pour augmenter le taux de l'oxygène dans le sang, joue un rôle plus important, et que certains malaises, l'apathie, les vomissements, la céphalée doivent être en partie rapportés à son insuffisance dans les grandes altitudes.

En groupant l'action de la dépression, de la diminution d'oxygène et d'acide carbonique, on peut expliquer le mode de production du mal en ballon. Mais par quels phénomènes les modifications de l'atmosphère agissent-elles sur l'organisme pour amener ces accidents ? A la dénutrition des tissus, à l'influence sur les centres nerveux, il faut ajouter les altérations des reins et les transformations des éléments de l'urine. Déjà Jackson avait signalé, dans les altitudes, une élimination particulière de l'azote par les urines ; cette élimination au lieu de se faire en entier sous forme d'urée était représentée pour moitié de sa valeur par des substances alloxuriques. Dans les chambres pneumatiques, Kronecker avait vu se reproduire ces phénomènes quand l'air était

raréfié. Déjà, également, Dastre indiquait la diminution de l'excrétion de l'urée, pendant l'asphyxie par défaut d'oxygène; il apparaissait du sucre dans les urines ; c'était une véritable hyperglycémie.

Les travaux de Guillemard et Moog sur l'influence des hautes altitudes et les variations de la nutrition générale à ces niveaux, ont permis de mettre au point ces questions. Les auteurs ont effectué de nombreux examens d'urine pendant un séjour sur le sommet du Mont-Blanc. Ils ont constaté d'abord une diminution considérable de volume pendant les deux premiers jours. Déjà Bauffroy, Rohrdorf, Lepileur, Martens, Lortet avaient trouvé, aux grandes altitudes, les urines rares et foncées. Cependant le liquide est absorbé, en excès, et le froid a diminué l'évaporation cutanée. Il doit donc y avoir soit une exagération de l'exhalaison pulmonaire, que favorisent la sécheresse de l'air, la faible pression, le développement de la ventilation pulmonaire, soit encore une rétention d'eau dans l'organisme.

Au bout de cinq jours, le volume de l'urine augmente, indiquant cette rétention d'eau antérieure, et, le neuvième jour, l'élimination est régularisée. Mais le résidu fixe ne subit pas de modifications parallèles ; il y a diminution de la densité de l'urine et décharge d'eau. On se trouve dans les mêmes conditions que pendant les maladies infectieuses ; dans la période d'état, les urines sont rares et foncées : au moment de la défervescence, il survient une crise urinaire.

En étudiant successivement les divers éléments de l'urine, Guillemard et Moog arrivent aux résultats suivants :

Le résidu fixe de l'urine diminue considérablement dès le troisième jour, puis il y a retour à la normale et même excès de résidu vers le septième jour. La rétention chlorurée est tout particulièrement nette. Ce fait a une grosse importance pour le traitement du mal en ballon.

L'azote total est diminué dans l'urine. Il est retenu par l'organisme sous forme de déchets azotés, par suite de l'insuffisance passagère du filtre rénal. L'urée diminue considérablement. Il y a à la fois rétention et ralentissement dans sa production. Au contraire, il se forme dans l'organisme de nombreux matériaux azotés incomplètement oxydés, parmi lesquels figurent les alcaloïdes. Durant les huit premiers jours, leur quantité est supérieure à la normale, et leur maximum correspond à la crise de diurèse. Quant à l'acide urique, sa quantité absolue ne varie pas.

Les phosphates et les sulfates diminuent notablement au début, par défaut d'élimination.

Enfin la cryoscopie montre un ralentissement de la filtration par stase du sang dans les vaisseaux. Cette stase est due, soit à la diminution de la pression sanguine et au ralentissement de la circulation générale, soit à la vaso-construction des artérioles du rein sous l'influence de toxines. Il y a diminution de trois coefficients :

$$\frac{\Delta V}{P}, \quad \frac{S V}{P} \quad \text{et} \quad \frac{\Delta}{S}.$$

Ces examens d'urine montrent que, pendant les ascensions, le filtre rénal perd une partie de sa perméabilité, sous l'action probable d'une vaso-constriction rénale d'origine toxique. Parmi les alcaloïdes observés à ce moment, il en est en effet qui sont très toxiques. Il faut tenir compte de ces faits lorsqu'on veut établir la pathogénie du mal des altitudes. La plupart de ses symptômes sont ceux d'une urémie plus ou moins intense. Il s'ajoute, dans le cas de mal des montagnes, des facteurs secondaires : la fatigue musculaire, l'insuffisance cardiaque par exemple. Mais en dehors de ces éléments d'aggravation on retrouve les symptômes principaux : asthénie, anoréxie, céphalée.

Lorsqu'on monte dans un funiculaire, ce qui fait disparaître presque entièrement l'effort musculaire, il y a encore accroisse-

ment de la toxicité urinaire et diminution de la diurèse. Mais on ne retrouve plus ici les crises aiguës du mal des montagnes. Cependant, là encore, on doit craindre de sérieux accidents d'urémie chez les sujets dont la fonction d'élimination ou la perméabilité rénale sont amoindries, comme chez ceux dont le cœur est défectueux.

Quant aux ascensions en ballon, elles permettent d'atteindre sans accident des altitudes beaucoup plus élevées parce que, en dehors même de l'élément fatigue qui fait ici complètement défaut, la montée est très rapide, et l'emmagasinement des toxines n'a pas le temps de se faire.

Ces diverses expériences ont permis à Guillemard et Moog de conclure de la façon suivante :

« 1° L'anoxyhémie due au séjour dans l'air raréfié des hautes altitudes détermine une diminution légère des combustions intraorganiques, qui se traduit par la formation d'une quantité anormale d'alcaloïdes toxiques. Par contre, l'acide urique ne subit pas de variations.

« 2° Ces substances réagissent sur le rein en provoquant une diminution passagère de la diurèse caractérisée par une rétention d'eau et de matériaux azotés et salins.

« 3° De cette rétention résulte une auto-intoxication dont les symptômes constituent le mal des altitudes. Toutes les causes susceptibles d'augmenter l'élaboration de toxines ou d'entraver leur élimination (fatigue musculaire, insuffisance cardiaque, rénale ou hépatique) hâtent l'apparition des symptômes et en augmentent l'intensité. En dehors de ces facteurs d'aggravation, le séjour à une altitude supérieure à 4.000 mètres provoque un ensemble de symptômes qui constituent le mal des altitudes subaigu.

« 4° L'économie réagit contre l'intoxication par une décharge urinaire comparable à la crise des maladies infectieuses.

« 5° Les sujets dont les fonctions d'élimination présentent une tare même légère, ne peuvent, sans risquer de sérieux accidents d'urémie, effectuer un séjour même de courte durée aux grandes altitudes. »

Ces derniers travaux, et l'examen des théories que nous avons précédemment analysées, nous permettent de conclure à la complexité de la pathogénie du mal en ballon. De nombreux facteurs interviennent pour produire cet accident : les principaux sont d'abord l'anoxyhémie, puis l'acapnie, enfin le défaut de pression. Mais la façon dont l'organisme est altéré est également nécessaire à déterminer. Et nous devons alors faire remarquer le rôle important qui doit être rapporté aux modifications profondes de la secrétion urinaire. Il y a, dans le mal en ballon, une série d'accidents qui relèvent de l'intoxication du rein, du ralentissement de ses fonctions.

Quelle que soit la part respective attribuable à chacun de ces facteurs, nous nous inspirerons des indications que nous fournissent ces différentes théories pour instituer une hygiène des altitudes et un traitement du mal en ballon.

4° Traitement.

Nous avons indiqué, dans ses grandes lignes, le traitement préventif et curatif du mal en ballon. Il consiste avant tout dans les inhalations d'oxygène pur. Déjà Paul Bert avait montré la possibilité de compenser la réréfaction de l'air par une plus grande proportion d'oxygène. Convaincu de l'exactitude de ses recherches, il avait remis aux trois voyageurs du *Zénith* des bal-

lonnets d'oxygène qui les auraient sauvés s'ils avaient commencé leurs inhalations avant de se sentir saisis par le froid, et empêchés ainsi d'approcher les pipettes de leurs lèvres.

L'emploi de l'oxygène pur est à présent courant, et chaque fois que les aéronautes se proposent de faire un voyage d'altitude, ils se munissent de tubes contenant de l'oxygène comprimé. Ces tubes sont en communication avec des ballons en caoutchouc servant de gazomètres, et auxquels s'adapte un tube terminé par une sucette de verre. Il suffit ensuite de régler le débit du compresseur et d'inspirer l'oxygène pour éviter les symptômes du mal en ballon.

Ces accidents n'apparaissent qu'entre 5.500 et 6.000 mètres. Mais il est prudent de commencer les inhalations à une altitude inférieure. Hénocque propose deux zones, la première de 0 à 4.000 ou 5.000 mètres, dans laquelle l'aspiration d'oxygène est inutile ; la seconde, qui nécessite des inhalations continues.

Il est facile, en examinant les livres de bord, de contrôler les bons effets de l'oxygène.

Voici les observations rédigées par les concurrents pendant le concours d'altitude du 23 septembre 1900.

M. Balsan atteint l'altitude maxima de 8.417 mètres (record français) avec une pression minima de 268 millimètres 4.

Le départ s'effectue à 1 h. 50 du soir. « 4 h. 10 : Godard se trouve mal pendant deux ou trois minutes ; je double sa ration d'oxygène ; il se remet. Notre moustache est remplie de glace. — 4 h. 20 : Je me suis trouvé mal durant deux ou trois minutes, j'ai compté mes pulsations, 86 à la minute ; ma faiblesse peut se traduire ainsi : un dégommage, je n'ai plus la force de porter mon tube d'oxygène à mes lèvres, et celui que j'avais précédemment aux lèvres est vidé. Je crois que si j'avais pu respirer sans interruption de l'oxygène, ma faiblesse n'eût pas été aussi accen-

tuée. Je reprends ma faiblesse, dégommage général, sans souffrance, mais avec un vide complet au cerveau, et un quasi-silence du cœur, en somme un engourdissement général auquel le grand froid et le gaz que nous respirons n'étaient peut-être pas étrangers. »

M. Juchmès s'éleva à 6.867 mètres. Pression minima, 330 millimètres 8.

« 3.000 mètres : Herbster nous bouche les oreilles avec des tampons d'amadou imbibés de collodion : excellente mesure. — 5.200 mètres. Depuis 3.800 mètres, j'ai conservé à la bouche la sucette d'oxygène, mais le ballon réservoir rend trop peu, nous nous branchons directement au compresseur qui, une fois réglé, au débit suffisant, fonctionne très bien. — 6.000 mètres : Jusqu'à présent, nous sommes en parfait état ; M. Herbster qui a abandonné sa sucette pour se consacrer entièrement au jet lent du lest, se sent légèrement incommodé. Il reprend de l'oxygène en rendant le débit assez vif, et se trouve de suite d'attaque pour la lutte avec le *Saint-Louis* qui arrive à notre hauteur. Je suis obligé d'abandonner ma sucette pour réchauffer de mon souffle le verre qui recouvre le baromètre anéroïde, lequel se couvrait de brouillard ; pendant cette opération, Herbster m'imbibe les tempes d'alcool jusqu'à ce que je puisse reprendre ma sucette et j'évite ainsi tout malaise. »

M. de la Vaulx monte jusqu'à 6.820 mètres, correspondant à la pression minima de 333 millimètres 2.

« 4.000 mètres : Je commence à respirer de l'oxygène bien que je n'en aie encore aucun besoin.

« 4.500 mètres : Maison va très bien et ne veut pas encore respirer de l'oxygène.

« 5.000 mètres : Maison ne veut pas encore commencer à s'en servir. Il n'éprouve aucun malaise, moi non plus d'ailleurs, mais

je trouve plus raisonnable l'emploi préventif de ce gaz vivifiant.

« 5.700 mètres : Maison ayant une légère faiblesse dans les jambes se décide à respirer un peu d'oxygène, il est de suite rétabli et continue la manœuvre des sacs de lest.

« 6.000 mètres : Je ne sens aucun malaise ; je donne l'ordre à Maison de jeter un sac de lest, les forces lui manquent, il lâche le sac par-dessus bord et retombe sans connaissance au fond de la nacelle. Je lui enfonce immédiatement la tétine du tube d'oxygène au fond de la bouche ; il était temps ! Quelques secondes après il ouvre les yeux ; bientôt il est complètement ragaillardi, mais il se garde bien de lâcher son tube d'oxygène ; il a raison.

« 6.800 mètres. Nous sommes tous deux très dispos. »

Ces très intéressantes observations nous permettent de vérifier ce fait, que les symptômes du mal en ballon commencent vers 6.000 mètres seulement, qu'ils sont arrêtés par les inhalations d'oxygène, mais que l'on ne peut interrompre un seul instant celles-ci, sans risquer de perdre connaissance. Les mêmes accidents se sont produits pendant l'ascension de Berson et de Züring, quand ces deux savants établirent, le 31 juillet 1901, le record du monde pour l'altitude par 10.500 mètres. Dès qu'ils cessaient leurs inhalations, les palpitations augmentaient, ils trébuchaieut pour ne se remettre qu'avec de l'oxygène. D'ailleurs Züring reconnaît qu'il était à la fin dans un véritable état de paralysie ; il ne pouvait faire le moindre mouvement, il fallait toute son énergie pour ne pas céder au sommeil, il lui devenait impossible d'écrire et de lire. De son côté Berson constate cette impression si spéciale de bien-être : « A 9.150 mètres, je me sens singulièrement bien, beaucoup mieux qu'auparavant. »

Ces observations indiquent qu'en dépit des inhalations d'oxygène pur, il existe une limite que l'on ne saurait dépasser sans courir de grands dangers. Suivant P. Etienne, la vie cesse quand

la pression propre à l'oxygène est inférieure à 3 centimètres de Hg dans l'air inspiré par les poumons, c'est-à-dire avec une pression atmosphérique de 170 millimètres de Hg, soit encore 11.000 à 12.000 mètres. Telle est la limite des hautes excursions aérostatiques, même avec des inhalations d'oxygène.

On ne pourrait s'élever davantage qu'en s'enfermant dans un appareil au sein duquel on comprimerait de l'air, au besoin suroxygéné.

Ainsi l'air comprimé et suroxygéné permettrait sans doute de dépasser l'altitude déjà considérable de 12.000 mètres. Mais peut-être aussi pourrait-on reprendre la théorie de Mosso et d'Aggazzoti, et mélanger l'oxygène avec l'acide carbonique. Si les inhalations d'oxygène pur ont fourni la possibilité de dépasser 10.000 mètres, elles n'ont pu empêcher l'apparition de certains symptômes, la fatigue, l'inertie que signale Züring. Or Aggazzotti s'est soumis à l'énorme dépression correspondant à 14.582 mètres sans avoir aucun accident, grâce à son mélange d'oxygène et d'acide carbonique. Il serait intéressant de répéter ces expériences dans une ascension à de grandes altitudes, et d'utiliser un mélange contenant 15 pour 100 d'acide carbonique, 83 pour 100 d'oxygène.

Nous signalerons également l'influence du froid, la nécessité par conséquent de se bien défendre contre l'action de la température ambiante, et les méthodes indiquées par Kronecker pour atténuer les troubles du mal en ballon par l'excitation mécanique et les excitations périphériques de la peau provoquant des contractions nerveuses réflexes, pour arriver enfin à la théorie de l'urémie. Pendant les ascensions aux grandes altitudes, il se forme des alcaloïdes toxiques dans la circulation : l'excrétion rénale est diminuée, on observe en particulier de la rétention chlorurée. Peut-être la constatation de cette rétention doit-elle

servir d'indication pour le traitement du mal en ballon. Si le filtre rénal fonctionne mal, peut-on y remédier ainsi qu'on le fait dans les néphrites, en modifiant l'alimentation ? Nous pouvons donner dès maintenant, à titre d'indication, ce conseil aux aéronautes qui se disposent à franchir l'altitude dangereuse, de se préparer pendant une journée à ce voyage en suivant un régime déchloruré, au besoin même exclusivement lacté. Pendant l'ascension même il serait bon de se limiter à des boissons diurétiques : Eau de Vittel, de Contrexéville ou d'Evian, et d'écarter l'alcool sous toutes ses formes.

CHAPITRE VI

LES ORGANES DES SENS. — LA SENSIBILITÉ. LES RÉFLEXES

I. — L'OUIE

Parmi les organes des sens, le plus directement intéressé par les variations d'altitude est l'ouïe. Nous avons signalé, au chapitre des impressions en ballon, un certain nombre de sensations subjectives de l'ouïe perçues par les aéronautes. Mais ce n'est pas tout, et l'oreille présente à côté de l'audition un certain nombre d'autres attributions. L'une d'entre elles nous occupe tout spécialement ici : c'est le sens de l'altitude.

En décrivant le statoscope qu'utilisent les aéronautes pour reconnaître les plus faibles variations de hauteur, nous avons montré que le dispositif de cet appareil présentait de nombreuses analogies avec l'oreille : même interposition d'une membrane entre deux chambres, l'une ouverte au dehors, l'autre communiquant seulement par un étroit tube de caoutchouc : même système de leviers qui font enregistrer les déformations de la membrane. C'est qu'en effet l'oreille est influencée par les variations de la pression extérieure, et l'on retrouve dans cet organe les fonctions appelées baresthésiques, suivant le terme de Pierre Bonnier, et qui sont à leur maximum de développement chez les poissons.

Dans la vie ordinaire, les variations de la pression barométri-

que sont assez faibles et l'homme n'en a que très peu conscience. Mais déjà, pendant les ascensions aéronautiques, apparaissent chez de nombreuses personnes une gêne mal définie. Alors surviennent la surdité passagère, l'obnubilation auriculaire, le bourdonnement, l'oppression auriculaire, tous phénomènes signalés par Pierre Bonnier dans son étude sur le sens des altitudes.

Les sujets dont les oreilles ont perdu leur élasticité normale du fait de la sclérose des membranes et des vaisseaux, constatent plus rapidement l'apparition de ces troubles qui sont également plus accentués chez eux : les écarts de pression atmosphérique qui n'influencent pas les sujets normaux sont perçus par les individus scléreux, sans que toutefois ceux-ci soient toujours capables de les interpréter. Au contraire, cette fonction baresthésique est indispensable à l'équilibre des animaux qui vivent dans un milieu liquide ou à ceux qui volent dans l'air. Ils ne sauraient s'équilibrer avec la pression extérieure s'ils n'avaient pas conscience des variations de celle-ci. L'oreille doit être sensible aux variations lentes et irrégulières de la pression de l'atmosphère puisqu'elle distingue les variations rapides et régulières alors même que ces dernières sont très faibles. L'oreille humaine peut percevoir par seconde jusqu'à 20.000 vibrations périodiques ; elle en analyse la fréquence, l'amplitude, la forme et la direction. Ce n'est pas un appareil résonateur, mais un véritable enregistreur. « Certaines parties, écrit Pierre Bonnier, sont plus sensibles aux variations lentes et irrégulières (utricule avec ses fonctions baresthésiques, statographiques et manoesthésiques), d'autres plus sensibles aux variations rapides et régulières (saccule avec ses fonctions seisesthésiques ou perception des ébranlements *in natura*, sous forme analytique, comme chez les invertébrés), d'autres aussi plus sensibles à ces mêmes ébranlements perçus sous forme continue,

tonale (limaçon avec ses fonctions auditives). L'histoire de l'oreille est l'acquisition progressive de ces perceptions. »

Ces données sont vérifiées par Pierre Bonnier pendant l'ascension qu'il effectue, en 1901, de compagnie avec Jolly et sous la direction de M. Farman. Il recherche sur lui-même l'action d'une grande variation de pression qui, sans effort sur un appareil résonateur, agira fortement sur un appareil enregistreur de pressions lentes ou rapides, régulières ou non périodiques. Les changements d'altitude doivent s'accompagner d'une compensation tympanique et d'une compensation labyrinthique. On trouve en effet, dans l'oreille, trois milieux dont l'équilibre est nécessaire ; l'oreille externe remplie d'air atmosphérique ; l'oreille moyenne contenant également de l'air et reliée avec l'extérieur par la trompe d'Eustache ; enfin le labyrinthe contenant un liquide séreux. Ces trois régions sont séparées par des membranes qui doivent recevoir sur les deux faces une pression égale : il faut donc que l'équilibre s'établisse. Mais ces compensations tympanique et labyrinthique sont plus ou moins difficiles à réaliser suivant les sujets.

La première, compensation tympanique, ou équilibre aérien dans les oreilles externe et moyenne, se réalise par l'ouverture de la trompe d'Eustache. Cette manœuvre s'effectue grâce à la déglutition. Dans les altitudes élevées, quand la bouche devient sèche, la salive rare, et que la rupture de l'équilibre va se produire, le bâillement réflexe intervient encore pour distendre une dernière fois l'orifice tubaire.

Mais d'autres personnes, atteintes d'un catarrhe hypertrophiant siégeant sur la muqueuse de l'arrière-nez, ou de végétations adénoïdes, ne peuvent dilater complètement la trompe, et l'équilibre se rompt. Quand l'altitude reste faible, les symptômes sont peu marqués ; on observe cependant un commencement de surdité

et de la paracousie, ou diminution de l'audition aérienne avec développement de l'audition osseuse. Si, au contraire, le ballon continue à monter, la surdité est plus nette ; des battements vasculaires, des bourdonnements surviennent, qui sont dus à la tension de l'air dans l'oreille moyenne et au refoulement de la membrane tympanale en dehors ; la sensibilité à la trépidation est exagérée. Remarquons dès à présent que les mêmes accidents se produisent, et plus fréquemment, pendant une descente rapide.

Quant à la compensation labyrinthique, elle est moins rapide, et ses limites sont plus étroites. La vaso-constriction ou la vaso-dilatation des vaisseaux sinueux du labyrinthe suffisent à la rétablir.

Durant son ascension, Bonnier recherche le moment auquel apparaissent ces différents symptômes. La montée de l'aérostat est rapide. L'altitude de 4.500 mètres est atteinte au bout d'une heure vingt minutes : la pression est alors de 430 millimètres de Hg, la température, de — 4°5.

Les variations de l'audition aérienne et de la paracousie sont évaluées à l'aide du diapason acoumétrique. On constate ainsi que l'audition aérienne baisse à mesure que l'altitude augmente, tandis que la paracousie s'exalte très sensiblement :

	Départ secondes	1.700 mètres secondes	3.200 mètres secondes	4.400 mètres secondes	3.500 mètres secondes
Oreille droite :					
Audition aérienne .	0	— 5	— 7	— 10	— 5
Paracousie.	— 60	— 40	— 30	— 15	— 35
Oreille gauche :					
Audition aérienne .	0	— 10	— 12	— 15	— 10
Paracousie.	— 55	— 30	— 20	— 10	— 25

Il y a de légères causes d'erreur en ce qui concerne l'évaluation de l'audition aérienne : l'action de la pression et de l'humidité sur la conduction sonore par l'air, celle de l'humidité sur le tympan, celle enfin des bruits extérieurs qui ne cessent que vers 4.000 mètres. Au contraire, la mesure de la paracousie est obtenue d'une façon très précise, par contact du diapason sur le genou ; elle montre une rupture de l'équilibre labyrinthique. A gauche, l'audition aérienne est même inférieure à la paracousie, ce qui est contraire à la normale.

L'oppression labyrinthique, sensation de plénitude auriculaire assez pénible, apparaît vers 1.800 mètres à gauche, au-dessus de 2.000 mètres à droite.

Le bourdonnement commence à 2.800 mètres dans l'oreille gauche, et vers 3.200 mètres pour l'oreille droite. Bonnier le fait cesser en ouvrant les trompes d'Eustache, jusqu'à 3.500 mètres à gauche et 4.000 mètres à droite. Ce bourdonnement se reproduit si rapidement que, vers 3.000 mètres, il faut déglutir deux ou trois fois par minute. Puis il s'installe à demeure après quelque temps ; pendant la descente, il disparaît d'ailleurs à une altitude plus élevée que celle à laquelle il s'était définitivement établi pendant la montée. La compensation labyrinthique, due à des phénomènes vasomoteurs, s'est donc manifestée utilement au bout de vingt minutes de séjour à 4.000 mètres.

Le battement vasculaire survient à 4.400 mètres dans l'oreille gauche et ne dure qu'un quart d'heure.

L'angoisse pharyngée accompagnée de sécheresse de la gorge commence vers 4.500 mètres ; l'oppression respiratoire débute, d'ailleurs légère, entre 3.500 et 4.000 mètres, à la montée comme à la descente. A une altitude plus élevée, elle disparaît. L'oppression artérielle ou sensation de plénitude vasculaire est ressentie aux extrémités quand le ballon atteint 4.000 mètres. Il

s'y joint un léger tremblement. C'est à cette même hauteur que Bonnier constate la raideur des muscles de la nuque et du trapèze, symptôme fréquent dans les affections labyrinthiques.

Enfin, à aucun moment, Bonnier ne peut provoquer le vertige, en dépit de tous ses efforts ; nous avons déjà vu que le vertige faisait complètement défaut par les ascensions en ballon.

Nous avons voulu répéter, à notre tour, ces expériences, durant nos ascensions en ballon. Nous avons d'abord noté nos sensations subjectives de l'ouïe et nous avons mesuré ensuite, à des altitudes différentes, les variations de l'audition aérienne et de la paracousie. Nous remercions tout particulièrement le Dr Bellin pour les indications qu'il a bien voulu nous fournir à ce sujet.

Pendant une première ascension nous ressentons, à 1.200 mètres, une légère tension de l'oreille arrêtée par la déglutition. De nouvelles déglutitions suppriment ce phénomène chaque fois qu'il se produit. A 2.800 mètres, le Dr Crouzon qui nous accompagne constate l'apparition de quelques battements auriculaires d'ailleurs très passagers. Au-dessus de 3.000 mètres nous pouvons planer pendant quarante minutes sans éprouver la moindre gêne du côté de l'ouïe. Par contre, la descente très rapide, puisque le lest lancé par-dessus bord retombe dans la nacelle, produit sur nous-même une grande tension auriculaire, un peu pénible, s'accompagnant d'une surdité assez manifeste, et qui persiste pendant quatre heures après l'atterrissage jusqu'à ce que nous ayons l'impression, en nous mouchant, d'un véritable claquement tympanal. L'ouïe redevient aussitôt normale. Ce phénomène de tension auriculaire s'est constitué chez nous parce que nos trompes d'Eustache ne s'ouvraient pas complètement et que la brusque rupture d'équilibre n'avait pu être compensée à la descente. La montée, par contre, avait duré deux heures trois quarts, et nous avions eu le temps d'accommoder nos oreilles aux altitudes. Pendant

la descente même nos deux autres compagnons de voyage ont pu accommoder leurs caisses tympanales au moyen de quelques déglutitions et les symptômes qu'ils ont éprouvés se sont vite dissipés.

Observation XIV.

Mesure de l'audition aérienne et de l'audition osseuse à terre et à 2.500 mètres, en ballon.

Nous avons mesuré l'audition osseuse à terre, en appuyant un diapason de 128 vibrations contre l'apophyse mastoïde. Quand le son cessait d'être perçu par l'intermédiaire de l'apophyse, nous placions le diapason à 10 centimètres de l'oreille.

Normalement, l'audition aérienne doit se prolonger quand l'audition osseuse s'est arrêtée. On dit alors que l'on a le Rinné positif. Quand, au contraire, l'équilibre n'existe plus entre l'oreille externe et l'oreille moyenne, l'audition osseuse dure plus longtemps que l'audition aérienne. Le Rinné est alors négatif.

Voici les mesures effectuées sur nous-même :

1° *Oreille gauche* :

Avant le départ.	Mastoïde	10 secondes
	Oreille	14 —
	Rinné positif	1,4
A 2.500 mètres.	Mastoïde	10 secondes
	Oreille	6 —
	Rinné négatif.	0,6
Après la descente.	Mastoïde	30 secondes
	Oreille	16 —
	Rinné négatif	0,53

Dans le premier cas, à terre avant le départ, l'équilibre est complet : le Rinné est positif. Au contraire, à 2.800 mètres, la tension dans l'oreille moyenne est plus forte que dans l'oreille externe : le Rinné devient négatif. Après la descente, ce défaut d'équilibre persiste par suite de la fermeture des trompes d'Eustache; il est représenté subjectivement par la sensation de tension auriculaire et la surdité, et objectivement, par le signe de Rinné devenu négatif.

Les mêmes résultats sont constatés avec l'oreille droite :

2° *Oreille droite* :

A terre.	Mastoïde	9 secondes
	Oreille	14 —
	Rinné positif	1,55
A 2.500 mètres.	Mastoïde	13 secondes
	Oreille	7 —
	Rinné négatif.	0,53
Après la descente.	Mastoïde	26 secondes
	Oreille	18 —
	Rinné négatif.	0,69

Le signe de Rinné devenu négatif se vérifie donc à 2.500 mètres, malgré l'absence de symptômes subjectifs.

Observation XV.

Nous avons voulu vérifier la présence du signe de Rinné, négatif dans le premier cas, à 2.500 mètres, sur le Dr Crouzon, avec lequel nous avons effectué nos expériences.

L'accommodation s'étant régulièrement produite, le signe de Rinné est demeuré positif à 2.500 mètres :

1° *Oreille droite* :

A 2.500 mètres.	Mastoïde	17 secondes
	Oreille.	27 —
	Rinné positif.	1,58
2° *Oreille gauche*.		
	Mastoïde.	8 secondes
	Oreille.	12 —
	Rinné positif.	1,50

En outre, la légère tension auriculaire survenue pendant la descente s'est très rapidement dissipée :

Dans une nouvelle ascension, nous avons recherché, à une altitude très inférieure à la précédente, les modifications de l'ouïe. Comme il fallait s'y attendre, nous n'avons pas eu de défaut d'équilibre à la faible altitude de 1.100 mètres, aux environs de laquelle nous planions depuis 3 heures. Les Drs Crouzon et Le

Play n'ont constaté, ainsi que nous, aucun phénomène de paracousie. D'autre part, nous avons évalué cette fois l'acuité auditive en approchant de l'oreille le diapason acoumétrique qui nous a été indiqué par Bonnier, et en agitant aussitôt après la disparition du son ce diapason devant nos yeux, pour nous assurer de la suppression complète des vibrations.

OBSERVATION XVI.

Mesure de l'acuité auditive à terre et à 1.100 mètres.

I. — Dr Crouzon.

A terre. Audition aérienne. . . . . 26 (oreille gauche)
— . . . . . 27 (oreille droite)
Perception visuelle . . . . 26 (oreille gauche)
— . . . . . 27 (oreille droite)

D'où $\frac{26}{26}$ et $\frac{27}{27} = 0$.

L'acuité auditive est normale. L'œil ne distingue plus les vibrations de diapason quand l'oreille a cessé de les entendre Il en est de même en ballon :

A 1.100 mètres. Audition aérienne. . . . . 20 (oreille droite)
Perception visuelle . . . . 20 —

Soit $\frac{20}{20} = 0$.

Les mêmes résultats sont obtenus sur le Dr Le Play :

II. — Dr Le Play.

A terre. Audition aérienne. . . . . 32 (oreille gauche)
— . . . . . 30 (oreille droite)
Perception visuelle. . . . . 32 (oreille gauche)
— . . . . . 30 (oreille droite)

A terre $\frac{32}{32}$ et $\frac{30}{30} = 0$.

A 1.100 mètres. Audition aérienne. . . . . 32 (oreille droite)
Perception visuelle. . . . . 32 (oreille droite)

Par suite, $\frac{32}{32} = 0$.

L'acuité auditive donne les mêmes chiffres que la perception visuelle.

Par contre, l'acuité auditive est légèrement diminuée sur nous-même à 1.100 mètres.

III. — M. Jacques Soubies.

A terre.	Audition aérienne .	18 (oreille gauche)
	— .	22 (oreille droite)
	Perception visuelle.	18 (oreille gauche)
	— .	22 (oreille droite)

Acuité auditive normale $\frac{18}{18}$ et $\frac{22}{22} = 0$.

A 1.100 mètres.	Audition aérienne	12 (oreille gauche)
	Perception visuelle	15 (oreille gauche)

L'acuité auditive $\frac{12}{15} = 0{,}8$.

L'acuité auditive était normale à terre ; à 1.100 mètres, elle est moins forte que la perception visuelle. Il y a déjà un défaut d'équilibre, qui ne se traduit par aucun signe subjectif, et qui s'accorde avec les résultats que nous avions obtenus dans la précédente observation.

L'étude que nous venons de faire sur les modifications de l'ouïe pendant les ascensions en ballon, nous permet de conclure à l'existence de certains phénomènes dépendant du sens de l'altitude, et qui varient suivant les hauteurs auxquelles on parvient. Lorsque les compensations tympanique et labyrinthique ne s'effectuent pas régulièrement, l'aéronaute éprouve successivement du bourdonnement, des battements vasculaires, de l'oppression artérielle, dont l'importance varie suivant la vitesse de montée du ballon, l'oreille ne s'accommodant que lentement à une grande variation d'altitude. A ces symptômes subjectifs correspondent certains phénomènes objectifs dont on peut donner la mesure. C'est le renversement du signe de Rinné indiquant que l'audition aérienne est devenue moins complète que l'audition osseuse ; c'est la diminution de l'acuité auditive, reconnue par comparaison avec l'acuité visuelle. L'apparition de ces nouveaux symptômes est naturellement en rapport avec l'altitude. Mais elle se trouve également liée au bon fonctionnement des trompes d'Eustache, et leur apparition plus rapide chez certains sujets est un indice de la gêne de la respiration par les fosses nasales.

II. — LA VUE

Les aéronautes constatent généralement une augmentation de l'acuité visuelle. Les objets sont plus nets, on aperçoit certains détails qu'il serait impossible de reconnaître si l'on se trouvait sur le sol, avec le même éloignement. C'est ainsi que, du ballon, on distingue à terre des individus qui de leur côté, ne voient de la nacelle qu'un simple point noir, à peine perceptible au-dessous de l'enveloppe. Cette impression de vue développée correspond à un phénomène précis dont nous avons déterminé l'intensité.

Mais d'autre part, pendant une ascension, il se produit dans l'œil une série de modifications au sujet desquelles le Dr Daulnoy a bien voulu nous donner d'intéressants renseignements. Voici les résultats des observations que le Dr Daulnoy a effectuées en ballon.

La tension oculaire est diminuée pendant la durée de cette ascension.

Il ne se produit rien de spécial du côté de la pupille, de la conjonctive ni des paupières.

La vue est plus nette. L'acuité visuelle est très augmentée. Une bouteille lancée de 800 mètres se distinguait encore au moment où elle atteignait la surface d'un étang.

Avec l'ophtalmoscope, on constate une légère congestion de la choroïde et de la rétine, plus rouges que normalement, ce qui expliquerait l'augmentation de l'acuité visuelle. Au contraire la pureté de l'air ne paraît pas intervenir. Il est intéressant de remar-

quer, à ce propos, que, sur le sommet d'une montagne, l'acuité visuelle reste normale. Il y a donc ici un phénomène spécial aux aéronautes.

L'examen de la rétine étant un procédé très sensible pour découvrir l'albumine, les signes observés à son niveau pourraient être en rapport avec l'état du rein. Peut-être serait-il possible, enfin, par les ascensions en ballon, de trouver des indications relatives au traitement physique des choroïdites, du glaucome et du décollement de la rétine, sans parler pour cela d'une cure par le ballon.

Tel est le résumé des recherches que le Dr Daulnoy nous a exposées. Nous avons voulu, à notre tour, mesurer l'acuité visuelle en ballon. Nous nous sommes servi d'une échelle de Parinaud que nous avons suspendue, bien équilibrée, à l'extrémité d'une longue cordelette graduée. Cette échelle comprend quatre séries de lettres que l'on doit lire normalement :

La 1re ligne OH à 50 mètres.
La 2e ligne DN à 37 m. 50.
La 3e ligne TFR à 25 mètres.
La 4e ligne VDHB à 16 m. 66.

A l'aide de cette échelle nous avons effectué une première mesure à terre, avant le départ, puis une seconde à 2.500 mètres, et une dernière enfin, trois jours après l'ascension.

Observation XVII.

Mesure de l'acuité visuelle à 2.500 mètres.

Avant le départ du ballon, nous avons procédé, dans le parc de l'Aéro-Club, à une première mesure de notre acuité visuelle. Nous avons obtenu le résultat suivant avec la quatrième ligne qui doit être lue, normalement, à 16 mètres 66 centimètres.

A terre, avant le départ :

4e ligne VDHB : 3 lettres lues à 26 mètres.

les 4 lettres lues à 20 mètres.

$$\text{D'où } \frac{V}{D} = \frac{20}{16{,}66} = 1{,}20.$$

Notre acuité visuelle était donc supérieure à la normale. Nous avons répété cette lecture en ballon, à 2.500 mètres.

A 2.500 mètres :

4e ligne VDHB : 1 lettre lue à 30 mètres.
2 lettres lues à 28 mètres.
4 lettres lues à 27 m. 50.

$$\text{En conséquence, } \frac{V}{D} = \frac{27{,}50}{16{,}66} = 1{,}65.$$

D'autre part nous avons pu lire, à 50 mètres, la deuxième ligne de l'échelle, établie pour 37 m. 50. A 67 mètres enfin, nous lisions la première ligne qui, avec une acuité normale, doit se distinguer à 50 mètres.

Notre acuité visuelle, déjà supérieure à la normale, à terre, était donc sensiblement augmentée en ballon, à 2.500 mètres.

Pour vérifier cette augmentation, nous avons fait une nouvelle lecture trois jours après l'ascension. Nous avons obtenu les chiffres suivants :

Lecture à terre, le 5 août :

La 4e ligne correspondant à l'acuité normale de	16 m. 66	est lue à	23 m. 10		
La 3e ligne	—	—	25 mètres	—	33 mètres
La 2e ligne	—	—	37 m. 50	—	44 mètres
La 1re ligne	—	—	50 mètres	—	58 m. 50

Ces différentes déterminations nous permettent d'affirmer l'augmentation très appréciable de l'acuité visuelle. Celle-ci déjà supérieure d'un quart à la normale, quand nous étions à terre, s'est encore développée de près d'un tiers, à 2.500 mètres.

Nous avions eu l'impression de ce phénomène en examinant le sol du haut du ballon. En passant au-dessus du Parc des Princes, à 1.200 mètres d'altitude, nous lisions très nettement les grandes affiches peintes sur la piste du vélodrome. D'autre part, il nous a été possible de suivre, pendant un kilomètre environ, la chute d'un cobaye que nous avions sacrifié pour nos expériences sur le sang.

Nous pouvons donc conclure à l'influence de l'ascension en

ballon sur l'acuité visuelle, augmentée d'un bon tiers à 2.500 mètres. Ce phénomène qui ne s'observe pas dans les ascensions de montagne, peut tenir à la congestion légère de la choroïde et de la rétine sous l'action des différents facteurs de vasomotricité. Au surplus, nous devons tenir compte de la pureté de l'air et de l'absence de brume constatée au-dessus de 800 à 1.000 mètres, lorsqu'on se trouve dans la nacelle.

III.— L'ODORAT ET LE GOUT

Nous avons déjà indiqué, à propos de la tension auriculaire, le défaut d'équilibre que produisait dans l'oreille moyenne le mauvais fonctionnement de la trompe d'Eustache. Les végétations adénoïdes, le catarrhe hypertrophiant de la muqueuse nasale sont parmi les principales causes de cette obturation tubaire, et expliquent, notamment dans les descentes rapides, cette impression de plénitude auriculaire et cette surdité qui peuvent persister quelque temps.

Le Dr Cousteau a publié dans l'*Aérophile*, une remarque sur la perméabilité nasale au cours des rhinites congestives. Les personnes atteintes de cette affection sont plus gênées quand l'air est humide. La muqueuse nasale paraît donc hygrométrique, et se gonfle sous l'action de l'humidité.

Dans le ballon *Ariel*, le Dr Cousteau, accompagné de M. Janets, pilote, a observé l'augmentation de volume de la muqueuse nasale à mesure que l'altitude devenait plus élevée, et l'obstruction d'abord unilatérale puis bilatérale des fosses nasales.

Au contraire, pendant la descente, cette obstruction diminue quelques centaines de mètres avant d'atteindre le sol et disparaît à l'atterrissage. L'obstruction nasale augmente donc à mesure que l'on s'élève. Il résulte de ces faits que cette obstruction tient moins à l'état hygrométrique de l'air qu'à la diminution de pression. Il est vrai qu'à terre, la descente de la colonne de mercure barométrique coïncide généralement avec la pluie. C'est pourquoi

l'on admettait jusqu'ici l'influence prépondérante de l'humidité sur l'état de la perméabilité nasale. Il faut rapporter ce rôle à la dépression.

Nous n'avons pu, en ce qui concerne l'odorat, constater de modifications qualitatives et quantitatives pendant les ascensions en ballon. Il en est de même du goût.

IV. — LA SENSIBILITÉ

La torpeur observée dans les ascensions à de grandes altitudes, cette apathie signalée par tous les aéronautes, l'affaiblissement de la force physique proportionnel à la hauteur, tous ces phénomènes qui semblent indiquer un ralentissement de l'activité vitale s'accompagnent-ils d'une réelle diminution de la sensibilité ? Nous avons voulu répondre à cette question pendant nos ascensions. Nous nous sommes servi pour cela d'un esthésiomètre, et nous avons noté à quel chiffre commençait la double perception des deux pointes de l'appareil qui, jusqu'à un certain écart, ne donne qu'une sensasion unique.

Nous avons fait une première mesure sur la pulpe du doigt, si particulièrement sensible, et sur le poignet où cette sensibilité est beaucoup plus émoussée.

Observation XVIII.

Mesure de la sensibilité à 2.800 mètres, en ballon.

Dans une première mensuration, nous avions établi, avant le départ du ballon, le degré de la sensibilité à la pulpe du médius gauche et sur le poignet gauche. Nous avons répété cet examen à 2.800 mètres.

A terre :	pulpe du médius gauche	3 millimètres
A 2.800 mètres :	—	4 —

Soit un rapport de 3/4 = 0, 75.

A terre :	poignet gauche	14 millimètres
A 2.800 mètres :	—	20 —

D'où 14/20 = 0. 70.

La sensibilité est donc émoussée d'un tiers pendant une ascension à 2.800 mètres. La différence est surtout frappante au niveau du poignet où l'innervation est moins fixe et où un écart de 14 millimètres entre deux pointes ne donne lieu, sur le sol, qu'à la perception d'un seul contact.

Observation XIX.

Mesure de la sensibilité à 1.000 *mètres.*

Nous avons répété cette mesure dans une autre ascension. L'altitude étant moins considérable, l'écart constaté est beaucoup plus faible. L'examen a été fait sur la peau du poignet.

1er sujet :

Poignet gauche. A terre . . . . . 16 millimètres
A 1.000 mètres. . . . . 20 —

Soit 16/20 = 0. 80.

2e sujet :

Poignet droit. A terre . . . . . 18 millimètres
A 1.000 mètres. . . . . 21 —

Soit 18/21 = 0. 85.

3e sujet :

Poignet droit. A terre . . . . . 37 millimètres
A 1.000 mètres . . . . . 39 —

Soit 37/39 = 0. 94.

Il y a donc, dans les trois cas, diminution évidente de la sensibilité ; l'écart obtenu sur les deux premiers sujets est à peu près égal, inférieur cependant chez le troisième.

Nous avons donc constaté que la sensibilité s'émoussait pendant les ascensions en ballon. Cette diminution paraît proportionnelle à l'altitude. A 2.800 mètres, elle est d'un tiers environ.

V. — LES RÉFLEXES

Enfin, nous avons recherché si la suppression ou la diminution des réflexes se produisaient dans les ascensions en ballon, au même degré que certains phénomènes observés du côté du système nerveux.

Nous avons étudié le réflexe du poignet et le réflexe rotulien dans le parc de l'Aéro-Club et à 2.600 mètres. Nous n'avons constaté aucune modification de ceux-ci pendant l'ascension. A des altitudes moyennes, les réflexes restent donc normaux.

CHAPITRE VII

L'HYGIÈNE DE L'AÉRONAUTE

I. — LA TEMPÉRATURE ET LE VÊTEMENT

Pendant les voyages en ballon et notamment les ascensions à de grandes altitudes, les variations atmosphériques les plus importantes à étudier au point de vue physiologique après le changement de pression barométrique, concernent la température et l'état hygrométrique de l'air. Nous avons indiqué, à propos de la numération des globules, les résultats qu'avait produits l'action de l'humidité et du froid sur deux cobayes dont nous examinions le sang périphérique. Des phénomènes très nets de vasoconstriction étaient survenus, qui constituaient un véritable moyen de défense pour l'organisme.

Les modifications thermiques sont en effet considérables pendant les ascensions en ballon. L'air s'échauffant surtout par le rayonnement et le contact du sol, les couches inférieures sont les plus chaudes et la température décroît rapidement à mesure que l'on s'élève. Gay-Lussac, en 1804, ressent, à l'altitude de 7.000 mètres, un froid de — 10 degrés, contre 28 degrés au niveau du sol. avant le départ, ce qui représente une différence de 38 degrés. En 1850, Barral et Bixio éprouvent, à 7.000 mètres également, une température de — 39 degrés. Helmholtz et Mühry croient que l'écart est de 1 degré par 200 mètres d'élévation. Glaisher, à

10.000 pieds d'élévation en ballon, trouve une diminution de 1 degré pour 228 à 249 mètres. Enfin G. Yvon montre que l'on peut établir une moyenne d'environ 5 degrés par 1.000 mètres. Au-dessus de ce chiffre rien n'est certain.

Les expériences de Teisserenc de Bort, en Laponie, ont permis de vérifier l'existence d'une zone isotherme située entre 8.000 et 11.000 mètres suivant la pression constatée à la surface des eaux ; non seulement, à partir de ce point, la température cesse de s'abaisser, mais même, elle se relève un peu ; c'est ainsi qu'un ballon-sonde enregistra — 69° 8 à 10.000 mètres et — 66° à 14.000 mètres ; un autre donna — 56° 7 à 11.600 mètres et — 53° à 15.600 mètres. Il résulte de ces faits qu'au-dessous de 8.000 mètres se trouve une zone atmosphérique qui participe à toutes les modifications de température constatées à la surface de la terre, mais qu'au delà de cette région, les espaces semblent, au point de vue de la température, indifférents aux modifications qui se produisent plus bas.

La chaleur spécifique de l'air paraît donc, jusqu'à 8.000 mètres au moins, en raison inverse de la pression ; l'atmosphère, dans les grandes altitudes, jouit davantage du pouvoir d'absorber la chaleur des corps à son contact ; la chute du thermomètre est, nous l'avons vu, d'un degré environ par 180 ou 200 mètres d'élévation. De là le froid qui saisit les aéronautes à une certaine hauteur au-dessus du sol. Il en résulte également que la vapeur d'eau se refroidit en s'élevant et se condense en nuages lorsqu'elle atteint les couches supérieures. La radiation de la lumière solaire s'effectue en effet sans que l'atmosphère en absorbe plus d'un cinquième (Althaus) ou d'un quart (Pouillet).

Cependant le froid n'a pas une grande influence sur la température de l'homme et des animaux homéothermes. L'organisme lutte en effet contre le refroidissement de deux façons, par le re-

froidissement de la peau et par l'augmentation de la production de chaleur. Le refroidissement de la peau s'opère grâce à la vaso-constriction périphérique que nous avons déjà étudiée. L'augmentation de la production de chaleur se fait par un mécanisme mal élucidé. Cependant la résistance au froid est limitée par un certain abaissement de la température ambiante et par une certaine durée du refroidissement. Et c'est ainsi qu'intervient le rôle des vêtements.

On trouve donc plusieurs étapes dans l'action du froid sur l'organisme. Ce sont au début la sensation du froid, la vaso-constriction périphérique indiquée par la pâleur des téguments, la diminution de l'excrétion d'eau par les poumons et la peau. Quand les vêtements protègent suffisamment le corps, les phénomènes s'arrêtent là. Si au contraire le refroidissement continue, on note des sensations douloureuses dans les membres, puis les extrémités se raidissent. Certains de ces accidents ont été constatés par les aéronautes qui se plaignaient, aux très grandes altitudes, d'un engourdissement complet causé par le froid.

Mais le froid n'est pas le seul élément qui intervienne chez les aéronautes : ceux-ci souffrent souvent, pendant l'été, d'une chaleur accablante. Le ballon est exposé directement à l'action du soleil, à la réverbération des nuages. De plus, même pendant un grand froid, les radiations solaires frappent directement la nacelle, et la température des parois extérieures peut dépasser de vingt degrés celle de la partie intérieure demeurée dans l'ombre. Aussi une basse température ne donne-t-elle pas, en ballon, une grande impression de froid, lorsqu'on ne se trouve pas à une altitude très élevée ; de plus, l'absence absolue du vent rend bien plus supportables les variations de la température, et l'on peut observer ce fait curieux, que l'aéronaute, en dépit du froid très vif, doit parfois, en hiver, enlever son manteau parce qu'il se

trouve sous l'action directe des rayons solaires. Le froid n'est ressenti fortement qu'à l'atterrissage.

C'est pour ce motif que les érythèmes solaires sont fréquemment signalés pendant les ascensions. Nous avons observé nous-même l'apparition d'un érythème sur un de nos compagnons de voyage alors que la température était de 2 degrés seulement.

Enfin l'état hygrométrique de l'air a son importance. A une altitude élevée, l'air est souvent très sec ; la restitution d'eau de la profondeur peut quelquefois ne pas suivre assez tôt la déperdition par la peau, par les muqueuses des lèvres, du nez, de la bouche, du pharynx. Tous les aéronautes ont noté la sécheresse de la gorge, très fréquente au-dessus de 3.000 mètres ; ce phénomène se produit surtout si la variation de l'état hygrométrique est survenue brusquement. On constate souvent des gerçures, de la cuisson de la peau. La muqueuse des lèvres se fendille, la sécrétion salivaire est arrêtée. Ces symptômes augmentent avec l'altitude, et il est prudent, lorsqu'on doit s'élever à une grande hauteur, de s'enduire au préalable la figure, les narines et les lèvres d'une couche légère d'un corps gras.

La question des vêtements présente, en raison de ces faits, une certaine importance. Les vêtements sont des agents protecteurs contre la perte de chaleur qui s'effectue par conductibilité, par rayonnement et par évaporation ; ils doivent en outre défendre le corps contre l'insolation, l'humidité de l'air, l'électricité du milieu ambiant. Enfin l'aération de la peau doit être conservée grâce à une ventilation méthodique.

Les costumes adoptés par les aéronautes sont très divers. On utilise surtout les vêtements de laine, la flanelle appliquée directement contre la peau et qui régularise l'évaporation de la peau. L'hiver, on emploie parfois les peaux de bêtes comme manteaux contre le froid, la capote caoutchoutée contre la pluie. Enfin on

met souvent au fond de la nacelle, quand la température est basse, une couche de paille qui protège bien les pieds.

La qualité des différents tissus employés pour la confection des vêtements a été souvent appréciée au calorimètre. Ces chiffres sont utiles à consulter et montrent que les vêtements les plus épais, les plus pesants, ne sont pas toujours ceux qui protègent le mieux contre le froid. Voici un tableau dressé par Bergonié :

Coefficient d'utilité pratique = u

Chemise courte de coton à jours, sans col, tissu cellulaire, couleur blanche, longueur 0,74, poids 255 grammes . . . . . u = 1,35

Chemise laine et soie, tissu fin et serré, longueur 1 mètre, poids 190 grammes . . . . . u = 1,50

Chemise laine dite Jaeger, tricot léger, longueur 1,06, poids 370 grammes . . . . . u = 1,40

Chemise flanelle de coton, tissu très moelleux, longueur 1,02, poids 465 grammes . . . . . u = 1,75

Gilet de flanelle neuf, force moyenne, sans manches, longueur 0,76, poids 152 grammes . . . . . u = 1,35

Gilet de flanelle, gros molleton blanc, à manches, longueur 0,76, poids 445 grammes . . . . . u = 1,55

Gilet de chasse en laine, tricot très épais, croisé devant, couleur marron foncé, longueur 0,62, poids 853 grammes. . . . . u = 1,60

Maillot cycliste en coton tricoté, marron clair, collant bien sur le buste, pas d'ouverture, longueur 0,71, poids 340 grammes. u = 1,10

Gilet en laine des Pyrénées, blanc avec rayures de couleur, mal fermé devant, longueur 0,70, poids 530 grammes. . . . . u = 5,20

Gros veston d'hiver, en drap, cheviotte noire, col non relevé, doublé en flanelle, longueur 0,78, poids 1,335 grammes . . . u = 1,90

Gros pardessus d'hiver doublé en soie, drap épais bleu foncé, croisant devant, col non relevé, longueur 0,94, poids 1,875 grammes . . . . . u = 2,50

Veston en cuir noir doublé de flanelle mince, croisé devant, fermant en haut, longueur 0,77, poids 1,405 grammes. . . . u = 1,60

Mac-farlane en laine looden, bleu très foncé, sans doublure, imperméable, à pèlerine, longueur 1,30, poids 1. 580 grammes. u = 2,10

Pelisse en vison d'Amérique, poil en dedans, gros drap noir, longueur 1,40, poids 4,200 grammes . . . . . u = 4,50

Ce tableau montre que la chemise en laine et soie dont le poids est très faible, a un coefficient assez élevé. Le maillot de cycliste est un mauvais vêtement qui n'empêche pas le rayonnement. Le veston en cuir est lourd, et cependant il protège très médiocrement contre le froid au repos. Le tissu en laine des Pyrénées a un coefficient d'utilité pratique assez élevé. Enfin la pelisse de fourrure permet d'affronter une différence de température double de celle contre laquelle défend efficacement un pardessus ordinaire.

Il faudrait ajouter à ce tableau les vêtements en papier, ceux du système Crabbe par exemple, souvent employés par les aéronautes, et qui, avec un poids très minime, défendent très bien le corps contre les variations brusques de température et contre l'humidité.

En résumé, le costume de l'aéronaute doit être ample, permettant l'aération du corps, assurant la liberté complète des mouvements. Il est essentiel qu'il protège contre l'insolation, les variations de température et d'état hygrométrique. Les vêtements de laine, la chemise de flanelle ou de soie et laine, les plastrons de papier, une pelisse par les grands froids, une pèlerine légère caoutchoutée en cas de pluie, seront particulièrement indiqués dans les ascensions en ballon.

II. — L'ALIMENTATION

Nous avons peu de choses à dire sur l'alimentation en ballon. Dans une ascension ordinaire on peut s'en remettre au goût de chacun. L'appétit est d'ordinaire assez vif, la digestion s'effectue sans difficultés. Les aéronautes emportent volontiers du vin de champagne qui constitue une boisson tonique. Il est inutile de recommander la sobriété ; la céphalalgie surviendrait trop rapidement après la descente.

Durant les saisons froides, l'absorption de boissons chaudes est rendue possible grâce à la marmite Balsan. M. Balsan a eu l'idée de placer les liquides à réchauffer, dans un récipient contenu dans une boîte plus large. Dans l'intervalle se trouve de la chaux vive qui, au contact de l'eau, dégage une forte chaleur. On peut avoir, de la sorte, du bouillon, du thé, du café, des potages, etc. Les aéronautes utilisent également des bouteilles à doubles parois entre lesquelles on fait le vide ; les liquides restent brûlants pendant 15 à 20 heures.

Nous rappellerons enfin qu'il est dangereux de fumer en ballon : la proximité du gaz d'éclairage, la manche d'appendice par laquelle le gaz s'échappe pendant la montée feraient courir de trop grands risques. Quand le ballon plane, le péril est moins grand, mais, par prudence, il vaut mieux s'abstenir.

En définitive, une ascension ordinaire en ballon ne nécessite, au point de vue médical, qu'une faible préparation ; il en est tout autrement quand il s'agit d'escalader une montagne.

Nous reproduisons ici, néanmoins, l'ordonnance donnée par le Dr Corcelle, en 1838, à Mlle Henriette d'Angerville, la première femme qui soit arrivée au sommet du Mont-Blanc ; on peut y trouver des indications intéressantes et d'un bon profit pour les aéronautes. Voici quelles sont ces prescriptions :

« Avant l'ascension, éviter de fatiguer le corps par mille courses de détail et l'esprit par des préoccupations : adopter une nourriture légère, rafraîchissante, substantielle, point de ragoûts, de mets épicés, de salaisons, de crudités, de pâtisseries, de bonbons. Les jours d'ascension, manger peu, ne pas boire de vin mais du thé bien chaud, de l'eau blanchie avec du sirop d'orgeat ou de capillaire, et si le froid est très vif et la fatigue très grande, prendre un verre d'eau sucrée dans lequel on verserait une cuillerée ou deux d'excellente eau de-vie ; éviter soigneusement l'eau de glace ou de neige qui irrite la bouche, la gorge, et produit une soif dévorante. Si, à une certaine hauteur, on respire difficilement, ralentir le pas et s'arrêter fréquemment ; si l'oppression augmente, ne pas prononcer une parole, ne faire que les mouvements nécessaires pour avancer, et les faire de la façon la plus mesurée, tout mouvement précipité occasionnant alors les plus pénibles palpitations et quelquefois même des douleurs aiguës ; si l'oppression amène un crachement de sang un peu fort, renoncer à l'entreprise. »

Les données qui précèdent s'appliquent aux ascensions à des altitudes moyennes. Lorsqu'il s'agit d'un voyage à une grande hauteur, on doit tenir compte des effets du mal en ballon. Nous avons énuméré, dans le traitement de cet accident, les remèdes les plus propres à combattre ses dangereux effets ; rappelons ici que la fonction rénale étant probablement altérée, il est prudent, pendant la journée qui précède, de se contenter d'un régime dé-

chloruré et, au besoin, purement lacté ; durant l'ascension même, on peut se désaltérer avec des boissons diurétiques, l'eau de Vittel, de Contrexéville, d'Evian, la tisane de chiendent par exemple. Il est préférable de ne pas faire usage d'alcool.

III. — LES IMPURETÉS DU GAZ. — LES INTOXICATIONS

Le gaz qui sert au gonflement du ballon est quelquefois la cause d'une véritable intoxication. On utilise ordinairement le gaz d'éclairage qui, rappelons-le, contient pour 100 volumes :

Hydrogène	45,6
Oxyde de carbone	6,6
Acide carbonique	3,6
Formène	34,9
Ethylène	4,1
Buthylène	2.3
Acétylène, Propylène, Azote, etc.	2,9
Total	100,0 (Schutzenberger).

Duvergie avait rapporté au formène les accidents consécutifs à l'inspiration prolongée du gaz d'éclairage. Layet écarte le rôle des divers carbures d'hydrogène ; il incrimine l'oxyde de carbone. Mais, en réalité, le gaz d'éclairage est plus dangereux que l'oxyde de carbone qu'il contient dans un même volume. Paul Bert tuait en quelques minutes les chiens qui respiraient un mélange d'air avec 5 pour 100 de gaz d'éclairage : c'est le procédé employé à la Fourrière. Ce mélange renferme 1 pour 100 d'oxyde de carbone, et si l'on joignait à la même quantité d'air, 1 pour 100 de ce dernier gaz, les chiens ne mourraient qu'au bout de deux heures environ. Ainsi le gaz d'éclairage, sans contenir de gaz toxiques, n'en détermine t-il pas moins une rapide asphyxie. Il semble que les gaz

inertes, hydrogène et carbures d'hydrogène, agissent en occupant, dans les alvéoles pulmonaires, la place de l'oxygène, et en favorisant ainsi l'anoxyhémie. De son côté la carboxyhémoglobine que produit l'oxyde de carbone au contact des globules rouges, prend naissance plus facilement lorsqu'il y a moins d'oxygène.

La présence de ces gaz explique les cas d'asphyxie, généralement légère, constatée pendant le gonflement ou après l'atterrissage des ballons. Il suffit en effet d'une proportion de 5 pour 100 de gaz dans l'air pour causer des accidents d'intoxication qui entraîneraient la mort au bout d'une demi-heure. Les symptômes observés consistent d'abord dans la céphalée légère au début, mais qui s'accroît rapidement et qui précède l'obnubilation de l'intelligence ; on peut la considérer comme un avertissement salutaire qui permet de reconnaître le danger et de s'y soustraire. Mais si l'intoxication est plus rapide, il y a une sensation de resserrement des tempes, l'apparition de lueurs devant les yeux, des sifflements et des bourdonnements, enfin une douleur rétrosternale et des vertiges. L'anéantissement de la volonté est très précoce, le sommeil survient et peut faire place à un véritable coma.

Cet accident survient parfois pendant le dégonflement, lorsqu'on demeure trop longtemps près de la soupape. La perte de connaissance est assez rapide en raison de la forte proportion de gaz d'éclairage dans l'air inspiré. On signale également des cas d'intoxication durant les préparatifs du départ. De Graffigny en donne dans ses récits, une observation personnelle : « Comme le vent s'élève, je me glisse sous l'enveloppe vernie et je maintiens l'appendice. Insensiblement ma tête s'alourdit. Par une cause inconnue, le sommeil me gagne. Je veux réagir contre l'affaissement qui m'accable et je ne puis y parvenir. La perception des choses extérieures m'abandonne, et je m'endors d'un sommeil qui peut être éternel. »

Le remède à cet empoisonnement par le gaz d'éclairage est très simple. On étend le malade sur l'herbe, on desserre ses vêtements, on excite la peau par des frictions, des flagellations ; si la perte de connaissance se prolonge, il faut pratiquer la respiration artificielle, procéder à des tractions rythmées de la langue. Un excellent remède consisterait dans les inhalations d'oxygène ; si ce mode de traitement fait défaut, on peut saigner le malade.

L'emploi de l'hydrogène pour gonfler les ballons est assez restreint, en raison de son prix de revient beaucoup plus élevé que celui du gaz d'éclairage. L'hydrogène fabriqué par l'action de l'acide sulfurique sur le zinc ou le fer présente un certain nombre d'impuretés dont le pouvoir toxique est assez grand. Chevalier a étudié ces impuretés et leur action physiologique dans une communication qu'a publiée l'*Aérophile*.

Suivant Chevalier, les gaz mêlés à l'hydrogène sont l'hydrogène arsenié, antimonié, sélénié, sulfuré ; il y a enfin des traces de carbures d'hydrogène. Leur présence tient aux impuretés des réactifs employés.

L'arsenic se retrouve souvent en quantités énormes dans l'acide sulfurique. On a pu en rencontrer jusqu'à 12 grammes par kilogramme d'acide. Or l'hydrogène employé pour les ballons devient dangereux quand il y a plus de 10 centigrammes d'arsenic par kilogramme. Cette proportion est trop souvent dépassée.

A la suite d'intoxications par l'hydrogène arsénié, Malgean a observé « au bout de quelques heures, nausées, vertiges, céphalalgie et abattement, puis somnolence avec brusquement des douleurs rénales ou abdominales. Environ 48 heures après, quelquefois plus tardivement, ictère jaune verdâtre. On constate de la dysurie, urines hémoglobinuriques. Bouche sèche, soif ardente, pouls fréquent. Cet état dure quelques jours ; la convalescence

se fait progressivement, toujours longue, les forces ne reviennent qu'après un certain temps. L'impuissance génésique est remarquable, même dans les cas légers. » Dans 40 p. 100 des cas, la mort survient brusquement du troisième au sixième jour. A l'autopsie, on constate une forte congestion de tous les viscères, ainsi que de l'encéphale. Les reins font hernie à la coupe ; ils présentent des lésions granulo-graisseuses très étendues. Le sang est de couleur brun noirâtre, sa consistance est visqueuse, il ne se coagule pas. Les coupes de rein font reconnaître, au microscope, les glomérules gonflés ; l'épithélium est détaché ou en voie de prolifération, les tubes urinifères sont remplis de cellules et de débris granuleux. Enfin les hématies sont en grande partie détruites et l'on retrouve de nombreux cristaux d'hémoglobine.

L'hydrogène antimonié a une toxicité très inférieure à celle de l'hydrogène arsénié. Les accidents sont analogues ; cependant les symptômes nerveux prédominent. La présence d'hydrogène antimonié est peu à redouter, et l'on tolère jusqu'à 1 gramme de ce gaz par kilogramme d'acide sulfurique.

Au contraire, la toxicité de l'hydrogène sélénié est considérable, et ce gaz est d'autant plus dangereux qu'il est à peu près impossible d'empêcher sa production. Les accidents que l'on observe quand l'hydrogène sélénié est abondant consistent dans l'irritation bronchique, le coryza avec perte de la sensibilité olfactive, la céphalée, la faiblesse musculaire. Les reins sont douloureux à la pression, les urines rares, albumineuses, contenant beaucoup d'urée et d'acide urique. Le sang ne semble pas altéré.

Enfin l'acétylène existe en faibles proportions dans l'hydrogène employé à gonfler les ballons et ne donne pas lieu, en conséquence, à des phénomènes d'intoxication.

Quant au mélange d'hydrogène et de gaz d'éclairage que l'on utilise surtout en Amérique dans le gonflement des aérostats, il

a été considéré comme très dangereux par Sainte-Claire Deville et il donne lieu à de graves accidents.

Nous avons signalé, en étudiant l'action du gaz d'éclairage et de l'hydrogène, les accidents que l'on observait pendant l'atterrissage ; mais nous voulons attirer également l'attention sur les impuretés de l'air dans la nacelle. La nacelle est faite en osier très serré, et généralement sans jours ; elle est souvent tapissée de toile, parfois de velours ou d'une autre étoffe, qui la ferment plus hermétiquement. L'ouverture supérieure est donc la seule par laquelle l'air peut circuler.

Au-dessus de la nacelle se trouve la manche d'appendice, largement ouverte, et qui permet la sortie du gaz pendant la montée ; ce gaz, généralement du gaz d'éclairage, arrive dans la nacelle qu'il imprègne, et en ressort ensuite. Cette circulation du gaz se reconnaît bien à l'odeur spéciale que les aéronautes constatent lorsque le ballon s'élève.

D'autre part l'acide carbonique de la respiration, plus lourd que l'air, s'accumule au fond de la nacelle et ne peut s'en échapper puisqu'il n'existe généralement pas d'ouvertures inférieures. Il résulte de ces faits que l'air est très vicié dans la nacelle, et que l'on y peut ressentir certains symptômes d'intoxication.

Nous les avons constatés pendant nos ascensions alors qu'assis au fond de la nacelle pour effectuer nos expériences nous devions respirer cet air vicié.

Nous y sommes resté, une première fois, pendant une demi-heure, et nous avons éprouvé une sensation de malaise, de céphalée légère, d'engourdissement. Le travail était devenu pénible; et cette lassitude s'accentuait progressivement jusqu'au moment où, nos travaux achevés, nous avons pu nous lever et respirer l'air extérieur. Nous avions donc subi un commencement d'intoxication par le gaz d'éclairage et l'acide carbonique.

Des appareils emportés pendant une autre ascension, pour recueillir l'air de la nacelle, ont été, malheureusement, brisés à l'atterrissage, et nous n'avons pu savoir la proportion exacte de ces différents gaz. Mais nous pouvons dès à présent indiquer l'intérêt qu'il y aurait à pratiquer, sur les côtés de la nacelle, des ouvertures destinées à augmenter l'aération. Les aéronautes qui pendant les longs voyages et notamment la nuit restent longtemps assis, en tireraient sans doute un certain profit.

IV. — LES CONTRE-INDICATIONS DU BALLON

Nous achèverons cette étude de la physiologie des aéronautes en énumérant les principales affections qui constituent des contre-indications pour les voyages aériens et surtout pour les ascensions à grande hauteur. Les modifications que présentent la plupart des organes sous l'influence des changements de pression, de température et d'état hygrométrique, ont été décrites dans les chapitres précédents. Nous nous contenterons de signaler ici un certain nombre de maladies sur l'évolution desquelles ces facteurs physiques auraient la plus fâcheuse influence.

Il faut, tout d'abord, mentionner certaines affections de l'appareil respiratoire, celles qui comprennent les hémoptysies parmi leurs symptômes. Dans les cas pathologiques, l'équilibre peut être rompu entre la tension sanguine et celle de l'air contenu dans les alvéoles pulmonaires ; une hémoptysie se produit alors. Nous citerons avant tout la tuberculose pulmonaire à tendance congestive qui pourra s'accompagner d'hémoptysies du fait de la dépression barométrique. Nous rappellerons à ce propos que, dans les autres formes de tuberculose pulmonaire, les ascensions en ballon ne peuvent remplacer la cure dans une station d'altitude. Le séjour dans l'air serait trop bref, et la fatigue consécutive à la descente aurait une action plutôt nuisible.

Ainsi que les tuberculeux, les malades atteints d'œdème du poumon, de dilatation des bronches, peut-être encore de conges-

tion pulmonaire arthritique doivent appréhender l'apparition d'hémorragies pendant les ascensions.

Il en est de même des cardiaques présentant des lésions valvulaires, et l'hémoptysie des lésions mitrales surviendra à la suite de cette dépression. Mais, en outre, on devra craindre les syncopes dans le cas d'insuffisance aortique, l'asystolie dans la maladie mitrale. Il est possible enfin que des accidents se produisent quand le cœur est atteint de myocardite chronique, ou lorsque des palpitations, des crises d'angine de poitrine ont été déjà observées.

La plèvre et le péricarde réagissent sous l'influence du changement de pression. Des pleurésies, des péricardites anciennes sont recueillies pendant un voyage en ballon. Pierre Bonnier a retrouvé à 4.400 mètres d'altitude, les tiraillements péricardiques d'une ancienne pleurésie diaphragmatique et d'une péricardite oubliées depuis onze ans.

Le tube digestif ne paraît pas intéressé par les variations atmosphériques.

Au contraire, le rein est très sensible à ces facteurs physiques. Nous avons étudié, au chapitre du mal en ballon, le défaut de filtration rénale, les urines rares et foncées observées aux grandes altitudes, leur composition modifiée. Les personnes atteintes de néphrite feront bien de s'abstenir. Il en est de même, d'une façon générale, de tous les malades qui présentent de l'hypertension artérielle.

Enfin on peut appréhender l'apparition de symptômes de congestion cérébrale chez les individus prédisposés, la venue d'une crise chez les épileptiques, l'hémorragie cérébrale chez les artérioscléreux.

Mais, à côté de ces affections qui représentent autant de contre-indications des ascensions, surtout à grande altitude, nous devons signaler l'excellent effet que celles-ci peuvent avoir sur

la neurasthénie ; l'impression de repos complet, de calme absolu, cette sensation de bien-être si spéciale au ballon, toutes ces conditions morales qui sont la base du traitement de la neurasthénie sont réalisées dans les voyages aériens et doivent produire une réelle amélioration. L'hystérie et les autres névroses bénéficieront, au même titre, des effets d'une ascension en ballon.

CONCLUSIONS

Dans les ascensions en ballon comme dans les ascensions de montagne, il est classique de constater une hyperglobulie. Le fait avait été démontré par Paul Bert qui admettait l'existence d'une hyperglobulie réelle ; et à la suite de Paul Bert, de nombreux expérimentateurs avaient vérifié ce fait. Mais on a reconnu depuis que cette hyperglobulie, limitée aux vaisseaux périphériques, n'était que relative et ne s'accompagnait pas de néoformation globulaire. L'accumulation des hématies relève, quand elle survient, de phénomènes périphériques sous l'action de facteurs physiques extérieurs. On attribue au froid le rôle principal.

Nos recherches sur ces points nous ont permis d'écarter la néoformation globulaire. Nous avons alors cherché la cause de ces phénomènes périphériques. Pour cette étude, nous avons emporté quatre cobayes dont nous avions numéré les globules d'une veine auriculaire à terre, avant le départ. Le premier cobaye a été placé dans une atmosphère saturée d'humidité ; le second, réservé comme témoin, se trouvait dans une cage largement ouverte ; le troisième était dans un milieu absolument sec ; pour le quatrième enfin, toute déperdition de chaleur était supprimée. Les prises de sang, effectuées à 3.200 mètres, nous ont fait constater une forte hyperglobulie chez le cobaye placé dans l'air humide et chez le cobaye témoin ; l'accumulation de globules à la périphérie manquait presque complètement chez les deux autres.

L'air extérieur étant chargé d'humidité, à 3.200 mètres, nous avons pu expliquer l'analogie des deux premiers résultats. Nous concluons donc à l'importance du poids et de l'état hygrométrique de l'air dans la production de l'hyperglobulie relative.

Enfin, les animaux à sang froid ne présentent pas de modifications globulaires.

Le taux réel de l'hémoglobine ne varie pas dans le sang, pendant les ascensions en ballon ; les modifications apparentes sont dues à la présence d'une hyperglobulie relative.

L'augmentation du nombre des leucocytes n'est pas signalée pendant les ascensions ; la proportion de chacune des variétés de globules blancs reste la même à terre et en ballon.

Nous n'avons pas noté de variations qualitatives et quantitatives des leucocytes à 3.200 mètres,

L'oxygène et l'azote contenus dans le sang ne suivent pas, jusqu'à 4.000 mètres environ, les lois de la dissolution des gaz, et restent en quantités invariables. Au contraire, l'azote dissous dans le plasma diminue proportionnellement à l'altitude.

La mesure de la pression artérielle donne des résultats très divers,qui se modifient suivant les ascensions. Nous avons constaté nous-même, dans une première ascension, une augmentation de pression de 1 degré, à 3.200 mètres. Pendant un second voyage, nous avons noté, par contre, à 1.100 mètres, une diminution de 1 et 2 degrés avec le sphygmomanomètre. Ces résultats, d'apparence contradictoire, s'expliquent par la variété des agents physiques extérieurs, dont l'action peut contrebalancer celle de la dépression atmosphérique.

Le coefficient respiratoire reste invariable jusqu'à près de 5.000 mètres, tant que la diminution de l'oxygène n'atteint pas la moitié (11 pour 100) de la quantité normale à la pression de

760 millimètres de mercure. Au-dessus de cette altitude, la ventilation pulmonaire intervient par son développement, pour lutter à son tour contre ce défaut d'oxygène. Enfin, à partir de 6.000 mètres, la gêne éprouvée par l'aéronaute devient considérable et les accidents du mal en ballon apparaissent.

La force musculaire et la résistance à la fatigue diminuent à mesure que l'altitude augmente, et l'on peut observer, à une très grande hauteur, une véritable impotence fonctionnelle. A 3.000 mètres, la force musculaire nous a paru diminuée d'un quart, et, de son côté, la fatigue survenait beaucoup plus rapidement qu'à terre. Mais il faut tenir compte du degré de musculature et de l'énergie individuelle.

Le mal en ballon comprend l'ensemble des accidents qui apparaissent, chez les aéronautes, à l'altitude moyenne de 5.550 à 6.000 mètres. Les principaux symptômes consistent dans la céphalée, les vomissements, la tendance aux syncopes, l'impotence musculaire, les hémorragies et le coma. La mort a pu être la conséquence du mal en ballon.

Diverses théories ont été établies pour expliquer ces accidents. On a invoqué l'absence d'oxygène (anoxyhémie), le manque d'acide carbonique (acapnie), la dépression déterminant des stases sanguines dans les vaisseaux pulmonaires, enfin le défaut de fonctionnement du rein produisant des accidents d'urémie.

Le traitement consiste dans les inhalations d'oxygène pur, auquel on pourrait adjoindre l'acide carbonique dans la proportion de 15 pour 100 ; l'union de ces gaz supprimerait plus complètement les symptômes et permettrait d'atteindre de très grandes altitudes.

Les phénomènes signalés du côté des oreilles, et que nous avons retrouvés pendant nos ascensions, consistent dans les bourdonnements, les battements auriculaires, l'oppression artérielle ; ils sont dus à la rupture des équilibres tympanique et labyrinthique. Pour l'audition même, elle s'altère quand la montée est très rapide et quand la trompe d'Eustache ne fonctionne pas bien ; l'audition aérienne devient plus brève que l'audition osseuse. On dit alors que le signe de Rinné est devenu négatif.

Nous avons noté le Rinné négatif dans un cas, à 3.200 mètres et après la descente. Dans nos autres observations, l'acuité auditive est demeurée normale.

La vue est augmentée en ballon ; ce phénomène ne s'observe pas dans les ascensions de montagnes. La choroïde et la rétine se congestionnent légèrement ; la tension oculaire diminue.

Nos déterminations de l'acuité visuelle nous ont montré que celle-ci se développait proportionnellement à l'altitude ; l'augmentation est d'un tiers environ, à 3.000 mètres.

L'odorat et le goût ne présentent pas de modifications.

La sensibilité s'émousse progressivement avec l'altitude chez les aéronautes. A 1.000 mètres nous avons vérifié une diminution d'un quart, et, à 2.800 mètres, d'un tiers environ. Les réflexes nous ont paru normaux aux altitudes moyennes.

L'impression d'immobilité, de repos et de calme absolu est caractéristique dans les voyages aériens. Le vertige fait complètement défaut.

Les aéronautes doivent se protéger contre le froid, l'insolation, les variations de l'état hygrométrique. Les vêtements amples, permettant l'aération du corps, les tissus chauds et peu pesants sont particulièrement recommandés. Nous signalerons, parmi eux, la flanelle, la laine et la soie, les plastrons de papier.

Une alimentation légère et substantielle, de digestion facile, est recommandée. Elle sera particulièrement surveillée avant les ascensions à de grandes hauteurs.

Les impuretés des gaz, hydrogène ou gaz d'éclairage, peuvent donner lieu à des accidents d'intoxication. Il est important de ménager dans la nacelle des orifices latéraux qui permettent à l'air de s'y renouveler.

D'une façon générale, les malades présentant une lésion pulmonaire qui s'accompagne d'hémoptysies, et notamment la tuberculose du poumon à tendance congestive, puis les cardiaques, les hypertendus, enfin les artérioscléreux, devront s'abstenir des ascensions, et surtout des montées en ballon aux grandes hauteurs. Au contraire, les voyages aériens ne peuvent avoir que d'excellents effets dans les névroses et les psychasthénies.

Vu :
Le Président de la Thèse,
DIEULAFOY.

Vu :
Le Doyen de la Faculté,
DEBOVE.

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris
L. LIARD.

BIBLIOGRAPHIE

Abderhalden. — *Recherches sur le sang en aérostat*, 1902.

Aggazzotti. — *Comment se forment les hémorragies dans les os des oiseaux par suite de fortes raréfactions*, 1903.

— *Recherches sur la composition de l'air dans les alvéoles pulmonaires à la pression normale et dans l'air raréfié*, 1904.

— *Action de l'oxygène et de l'acide carbonique dans le malaise produit par la raréfaction de l'air*, 1905.

— *Existe-t-il un rapport entre la réaction vraie et la réaction potentielle du sang à la pression normale et dans l'air rarefié* ? 1907.

— *La Réaction du sang dans l'air raréfié déterminée avec les méthodes titrimétrique et électrométrique*, 1907.

Ambard et **Beaujard.** — Effets de la dépression barométrique de courte durée sur la teneur du sang en hématies. *Société de biologie*, 1902.

Armand-Delille et **André Mayer.** — Expériences sur l'hyperglobulie des altitudes. *Journal de physiologie et de pathologie générale*, 1904.

Arnould. — *Nouveaux Eléments d'hygiène.*

Arthus. — *Chimie biologique.*

— *Eléments de physiologie.*

Auscher et **Lapicque.** — Hyperglobulie expérimentale. *Société de biologie*, 1895.

Balthazard. — *Médecine légale.*

Bans (Georges). — Le voyage des Micromégas. *Les Sports*, 1907.

Bardel. — Relations des températures, concentrations moléculaires, pressions osmotiques animales entre elles et avec l'atmosphère. *Société de biologie*, 1904.

Bartlett. — Modifications de la pression du sang sous l'influence de la respiration dans l'air raréfié. *Société de biologie*, 1903.

Bayeux. — Expériences faites au Mont-Blanc en 1903 sur l'activite des combustions organiques aux hautes altitudes. *Société de biologie*, 1904.

Bensaude. — Recherches hématologiques au cours d'un ascension en ballon. *Société de biologie*, 1901.

Bergonié. — Quelques Coefficients d'utilité pratique des vêtements confectionnés. *Société de biologie*, 1904.

Bert (Paul). — *La Pression barométrique.*

— Influence des altitudes sur la respiration. *Académie des sciences*, 1882.

— Le Mal des montagnes. *Revue scientifique*, 1886.

Besançon (Georges). — *L'Aérophile.*

Bezançon (F.) et **Marcel Labbé**. — *Traité d'hématologie*, Paris, G. Steinheil, 1904

Blanchet (Georges). — *Le Vade-mecum de l'aéronaute*, 1907.

Bonnier (Pierre). — Le Sens de l'altitude. *Revue scientifique*, 1902.

— Recherches sur la compensation labyrinthique en ballon. *Société de biologie*, 1901.

Bordier. — *Précis de physique biologique.*

Camus. — Etude expérimentale de l'influence des variations d'altitude sur la pression sanguine. *Journal de physiologie et de pathologie générale*, 1903.

Carillon. — *Le Mal des montagnes*, 1891.

Chauveau. — Le Mal des montagnes. *Revue scientifique*, 1894.

Chéron. — Hyperglobulie instantanée et neurasthénie vasculaire. *Académie des sciences*, 1895.

Chevalier. — Les Impuretés des gaz des ballons, leur Action physiologique. *L'Aérophile*, 1902.

Corcelle. — *Mademoiselle Henriette d'Angerville, une ascension au Mont-Blanc.*

Cottin. — *La Chute du ballon le « Montgolfier » le 14 juillet* 1882.

Cousteau. — Remarque sur la perméabilité nasale au cours des rhinites congestives. *L'Aérophile*, 1902.

Crouzon et **Jacques Soubies**. — Influence de la pression, de la température et de l'état hygrométrique de l'air sur l'hyperglobulie périphérique pendant les ascensions en ballon. *Société de biologie*, 1907.

Dastre. — Le Mal des montagnes et la Cure d'altitude. *Revue des Deux Mondes*, 1899.

Dominici. — Sur l'histologie de la rate normale et au cours des états infectieux. *Archives de médecine expérimentale et d'anatomie pathologique*, 1900 et 1901.

Egger. — Modifications du sang dans les hautes altitudes. *Corresp. Blaetter für schweizer Aerzte*, 1892.

— Recherches sur l'influence du climat d'altitude sur le sang. *Archiv. für experimental Pathologie und Pharmacie*, 1897.

Egli-Sinclair. — Le Mal des montagnes. *Revue scientifique*, 1894.

Eijkman. — Le Sang sous les tropiques. *Archiv für pathol. Anatomie*, 1892, 1893, 1896.

Etienne (P.). — *Etude sur les limites de l'air raréfié*, 1897.

Exposition de 1900. *Concours d'altitude du* 23 *septembre. Livres de bord.*

Farman (M.). — *Trois Mille Kilomètres en ballon.*

Flammarion (Camille). — *Voyages en ballon.*

Foa. — Etudes sur les globules rouges. *Gazette de l'Académie royale de Turin*, 1885.

— Structure des globules rouges. *Congrès de Pavie*, 1887.

Fodéra. — Influence des altitudes sur le sang. *Arch. di farmacia e di terapia*, 1895.

Fonvielle (de). — Influence des inhalations de gaz oxygène. *Aéro-Club de France*, 1902.

Fraenkel et **Geppert.** — *Ueber die Wirkungen der verdüunter Luft aub den Organismus ; eine experimentale Untersuchung*, Berlin, 1883.

Galeotti. — *Les Variations de l'alcalinité du sang sur le sommet du Mont-Rosa*, 1904.

Ganot. — *Physique.*

Gastou. — Modifications de la force musculaire, de la circulation et de la respiration en rapport avec l'altitude, l'état hygrométrique et la température. *L'Aérophile*, 1907.

Gaule (J.). — L'augmentation des globules rouges du sang dans l'ascension en ballon. *Académie des Sciences*, 1901.

Germe. — *Recherches sur les lois de la circulation pulmonaire, suivies d'une étude sur le mal des montagnes*, 1895.

Gilbert. — *Traité de pathologie générale.*

Gottstein et **Schœder.** — L'Augmentation des globules rouges dans la montagne est-elle vraie ou non ? *Berliner klinische Wochenschrift*, 1900.

Graffigny (H. de). — *Récits d'un aéronaute.*

Graves. — *Leçons de clinique médicale.*

Gravitz. — Etude clinique et expérimentale sur le sang. *Zeitschrift klinische Medicin*, 1893.

Gréhant. — *Les Gaz du sang.*

Guglielminetti. — *Le Mal de montagne et le Mal en ballon.*

Guillemard et **Moog.** — Influence des hautes altitudes sur la nutrition générale. *Journal de physiologie et de pathologie générale*, 1906.

— Observations faites au Mont-Blanc sur les variations du sang en hautes altitudes. *Id.*, 1907.

Hallion et **Tissot.** — Recherches expérimentales sur l'influence des variations rapides d'altitude sur les gaz du sang et sur la pression artérielle. *Société de biologie*, 1901.

Hayem. — *Le Sang.*

Hénocque.— Recherches sur l'oxyhémoglobine. *Société de biologie*, 1886.

— Influence de l'ascension à 300 mètres sur l'activité de la réduction de l'oxyhémoglobine. *Archives de physiologie*, 1889.

— Effets physiologiques de l'ascension à la Tour Eiffel. *Société de biologie*, 1900.

— Rapport sur les observations physiologiques en ballon. *L'Aérophile*, 1901.

Henri (Victor) et **Calugaréanu**. — Examens du sang au cours d'une ascension en ballon. *Société de biologie*, 1901.

Henri (Victor) et **Jolly**. — Examens du sang au cours d'une ascension en ballon. *Société de biologie*, 1904.

Jaquet. — Recherches sur l'influence du climat d'altitude sur le sang. *Archiv. für experimental Pathologie und Pharmacie*, 1897.

Jaruntowski et **Schrœder**. — Les Modifications du sang dans la montagne. *Munchener medic. Wochenschrift*, 1894.

Jolly. — Examen histologique du sang au cours d'une ascension en ballon. *Société de biologie*, 1901.

— Rapport sur l'ascension scientifique du 7 juin 1905. *L'Aérophile*, 1905.

Jolyet. — L'Azote dans le sang des animaux vivant sur les hauteurs. *Académie des sciences*, 1892.

Jolyet et **Sellier**. — L'hyperglobulie dans l'asphyxie expérimentale. *Société de biologie*, 1895.

Jourdanet. — *L'Air raréfié dans ses rapports avec l'homme sain et l'homme malade*, 1862.

— De l'Anémie des altitudes dans ses rapports avec la pression atmosphérique. *Revue médicale*, 1863.

— *Le Mexique et l'Amérique tropicale*, 1864.

Karcher, Veillon et **Sutter**. — Recherches sur l'influence du climat d'altitude sur le sang. *Archiv. für experimental. Path. und Pharmacie*, 1897.

Kronecker. — Le Mal de montagne. *Revue scientifique*, 1895.

— Le Mal des montagnes. *Académie des sciences*, 1903.

La Vaulx (de). — *Seize Mille Kilomètres en ballon.*

Langlois et **de Varigny**. — *Nouveaux Eléments de physiologie.*

Lapicque. — Diminution de l'hémoglobine dans le sang central pendant les ascensions en ballon. *Société de biologie*, 1904.

— Phénomènes vasomoteurs étudiés par le manomètre au cours d'une ascension en ballon. *Id.*, 1904.

Lapicque et **André Mayer**. — Hyperglobulie périphérique sous l'influence du froid. *Id.*, 1903.

Layet. — Le Mal des montagnes. *Revue sanitaire de Bordeaux*, 1886.

Le Gorgeu. — *De la Pathogénie du mal des montagnes.* Thèse de Bordeaux, 1904.

Lecornu. — *La Navigation aérienne.*

Lépine. — La Cure de l'anémie par l'altitude. *Semaine médicale*, 1898.

— Les grandes altitudes ont-elles quelque utilité ? *Id.*, 1899.

Lœwy. — Du Rôle de l'acapnie dans le mal des altitudes. *Arch. für Anat. und Pathol.*, 1898.

Lortet. — Deux Ascensions scientifiques au Mont-Blanc. *Revue des cours scientifiques*, 1870.

Malassez. — Thèse, 1873.

— Sur la mensuration du sang en globules rouges, règle globulimétrique. *Société de biologie*, 1889.

Marcano. — De Quelques Causes qui font varier le nombre et les dimensions des globules rouges du sang. *Journal de physiologie et de pathologie générale*, 1899.

Marestang. — L'Hyperglobulie des pays chauds. *Revue de médecine*, 1890.

Marie. — Hyperglobulie et cyanose tardive. *Société médicale des hôpitaux*, 1895.

Maupassant (Guy de). — *De Paris à Heyst en ballon.*

Mayer (André). — Numération des globules en ballon sur des lapins ayant un sympathique coupé. *Société de biologie*, 1904.

Mercier. — Les Globules rouges et l'altitude. *Archives de physiologie*, 1894.

Miescher. — Relation entre le niveau au-dessus de la mer et la composition du sang. *Corresp. Blaetter für schweizer Aertze*, 1893.

Morat et **Doyon.** — *Traité de physiologie*, 1900.

Mosso. — Notes sur la transformation des globules rouges en leucocytes. *Rev. dell' Academia di Lincei.* Rome, 1887.

— *L'Acapnie*, 1897.

— Physiologie de l'homme sur les Alpes. *Tribune médicale de Paris*, 1899.

— L'Acapnie et le mal des montagnes. *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1899.

— *Expériences faites sur des singes avec la dépression barométrique*, 1904.

— *Expériences faites sur le Mont Rosa en respirant de l'oxygène pur et des mélanges d'oxygène et d'acide carbonique*, 1904.

— *Le Mal des montagnes et le vomissement*, 1905.

Mosso et **Marro.** — *L'Acapnie produite chez l'homme par la diminution de la pression barométrique.*

Müntz. — Enrichissement du sang en hémoglobine suivant les conditions d'existence. *Académie des sciences*, 1891.

Nadar. — *Mémoires.*

Nadaud (Gustave). — *Chansons.*

Nicolas. — A propos du mal des montagnes. *Gazette des eaux*, 1899.

Nicolleau (Auguste). — *Voyages en ballon.*

Payot. — *Du Mal des montagnes considéré au point de vue de ses effets, de sa cause et de son traitement*, 1881.

Petit (Henri). — Variations de la pression artérielle dans les marches en plaine et en montagne. *Société de biologie*, 1905.

Peyrey. — *Aux Caprices des brises folles.*

Potain. — *La Pression artérielle.*

Proust. — *Traité d'hygiène.*

Quiserne. — *Des Polyglobulies.* Thèse, 1902.

Regnard. — Les Causes du mal des montagnes. *Société de biologie*, 1894.

— *La Cure d'altitude*, 1897.

Renaut. — Hématie. *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*.

Saint-Martin (G. de). — Influence de l'ascension en ballon sur la composition des gaz du sang. *Société de biologie*, 1904.

Santos-Dumont. — *Dans l'air*.

Sarah-Bernhardt. — *Dans les nuages, impressions d'une chaise*.

Saussure (de). — *La Première Ascension au Mont-Blanc*.

Schaumann et **Rosenqvuist**. — L'Augmentation des globules rouges du sang dans les régions élevées est-elle apparente ou réelle ? *Archiv. für gesamte Physiologie*, 1897.

— Nature des modifications du sang aux hautes altitudes. *Zeitschrift für klinische Medicin*, 1897.

Schrœtter. — Etude du mal des montagnes. *Wiener und Leipsick Braumüller*, 1899.

— Etude du mal de montagne, *Id.*, 1899.

Sellier. — Explication de la richesse en hémoglobine et en hématies du sang des animaux vivant à de grandes altitudes. *Gazette hebdomadaire de Bordeaux*, 1894.

— *Influence de la tension de l'oxygène sur l'hématopoièse et les combustions respiratoires*. Thèse de Bordeaux, 1896.

Soubies (Jacques) et **Crouzon**. — Influence de la pression de la température et de l'état hygrométrique de l'air sur l'hyperglobulie relative pendant les ascensions en ballon. *Société de biologie*, 1907.

Sully-Prudhomme. — *Premières Poésies*.

Tissandier (Gaston). — *Histoire de mes ascensions*.

Tissot. — Gaz du sang. *Traité de physique biologique de d'Arsonval, Chauveau*, etc., 1901.

— Influence de la pression. *Id.*

— Action de la décompression sur la proportion des gaz du sang. *Société de biologie*, 1902.

— Recherches expérimentales sur l'action de la décompression sur les échanges respiratoires de l'homme. *Id.*, 1902.

— Action de la décompression sur l'intensité des échanges respiratoires pendant le travail musculaire. *Id.*, 1902.

— La Respiration dans une atmosphère dont l'oxygène est considérablement raréfié n'est accompagnée d'aucune modification des combustions intra-organiques évaluées d'après les échanges respiratoires. *Id.*, 1904.

Vallot (J.). — Sur les modifications que subit la respiration par suite de l'ascension et de l'acclimatement à l'altitude du Mont-Blanc. *Académie des sciences*, 1903.

Van Liebig. — Du Mal des montagnes. *Wiener medic. Blaetter*, 1890.

Vaquez. — Note sur l'hyperglobulie. *Société médicale des hôpitaux*, 1895.

— Modifications du sang dans la cyanose chronique. *Société de biologie*, 1895.

Veillon. — Recherches sur l'influence du climat d'altitude sur le sang. *Archiv. für experimental Pathologie und Pharmacie*, 1897.

Viault. — Sur l'Augmentation considérable du nombre des globules rouges chez les habitants des hauts plateaux de l'Amérique du Sud. *Académie des Sciences*, 1890.

— Des Gaz du sang chez les hommes des hauts plateaux. *Id.*, 1891.

Viault et **Jolyet**. — *Physiologie*, 1898.

Weiss. — *Précis de physique biologique.*

Yon (**G.**). — Du Froid dans les nautes régions de l'atmosphère. *L'Aérophile*, 1893.

Zuntz et **Cohnstein**. — Richesse variable du sang en éléments figurés. *Berliner klinische Wochenschrift*, 1886.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

INTRODUCTION 7

DESCRIPTION DU BALLON 12

CHAPITRE Ier. — **Les Impressions en ballon** 19

CHAPITRE II. — **Recherches sur les modifications du sang dans les grandes altitudes** 29

I. — Modifications portant sur le nombre des globules rouges 32

1° Etat de la question avant les premières ascensions scientifiques en ballon 32

2° Les premières ascensions scientifiques et l'hyperglobulie vraie 41

3° Les phénomènes périphériques et l'hyperglobulie relative 63

4° Expériences personnelles sur l'hyperglobulie en ballon . 76

II. — L'Hémoglobine 88

III. — Les Leucocytes 94

IV. — Les Gaz du sang 97

V. — La Pression artérielle 107

CHAPITRE III. — **Les Echanges respiratoires pendant les ascensions en ballon** 121

CHAPITRE IV. — **La Force musculaire** 141

CHAPITRE V. — **Le Mal en ballon** 147

1° Définition 147

2° Symptôm 153

3° Pathogénie 157

4° Traitement 178

CHAPITRE VI. — **Les Organes des sens. — La Sensibilité. — Les Réflexes** 185

I. — L'Ouïe 185
II. — La Vue 195
III. — L'Odorat et le Goût 199
IV. — La Sensibilité 201
V. — Les Réflexes 203

CHAPITRE VII. — **L'Hygiène de l'aéronaute** 205

I. — La Température et le Vêtement 205
II. — L'Alimentation 211
III. — Les Impuretés du gaz. — Les Intoxications 214
IV. — Les Contre-Indications du ballon 220

CONCLUSIONS 223
BIBLIOGRAPHIE 229

Imp. J. Thevenot, Saint-Dizier (Haute-Marne).